

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS
TA‘LIM VAZIRLIGI**

**MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI
TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI**

R.X. Djuraev, Sh.Yu. Djabbarov, S.O. Maxmudov, J.B. Baltaev

AXBOROT VA KODLASH NAZARIYALARI

O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta‘lim vazirligi tomonidan oliy o‘quv yurtlarining 5350100 - “Telekommunikatsiya texnologiyalari” (Telekommunikatsiyalar, Teleradioeshittirish, Mobil tizimlar) ta‘lim yo‘nalishi talabalari uchun darslik sifatida tavsiya etilgan.

Toshkent 2017

Mualliflar:

R.X. Djuraev, Sh.Yu. Djabbarov, S.O. Maxmudov, J.B. Baltaev

Ushbu darslikda hozirgi kunda ishlatilayotgan kodlar, shovqinbardosh kodlarning klassifikatsiyasi va parametrlari haqida soʻz boradi. Shuningdek, kodlarning bir nechta turlari, siklik kodlar turkumiga kiruvchi Fayra, Rid – Solomon kodlarini qurish asoslari, hamda ularni kodlash va dekodlash usullari algoritmlari, BChX, Goley va Xemming kodlari, shovqinbardosh kodlarda sinxronizatsiya, zamonaviy modemlarda modulyatsiya va manipulyatsiya usullari keltirilgan. Algebraik kodlash va dekodlash algoritmlari berilgan boʻlib, u orqali jarayon mohiyatini osongina tushunish mumkin.

Darslik 5350100 Telekommunikatsiya texnologiyalari (Telekommunikatsiyalar, Teleradioeshittirish, Mobil tizimlari) yoʻnalishi boʻyicha taʼlim oladigan bakalavrlarga moʻljallangan.

Taqrizchilar:

Yu.K. Kamalov, “Oʻzbektelekom” AK “Innovatsiyani rivojlantirish va loyihalarni amalga oshirishni nazorat qilish boshqarma boshligʻi” , texnika fanlari nomzodi, dotsent

M.R. Qayumov, “Oʻzbektelekom” AK “TPRM” filiali direktori

KIRISH

So‘nggi yillarga kelib telekommunikatsiya tarmog‘i jadal sur‘atlarda rivojlandi. Bunga misol sifatida TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet protocol - Uzatishni boshqarish protokoli / Internet protokol), FR (Frame Relay FR - Kadrlarni retranslyatsiya qilish), ATM (Asynchronous Transfer Mode - Uzatishning asinxron rejimi) kabi yuqori tezlikli texnologiyalarni tarmoqqa kiritilganligini keltirish mumkin. Bu texnologiyalar (xususan ATM texnologiyasi) turli xildagi axborotlarni (ovoz, matn, ma‘lumotlar qo‘zg‘almas va video tasvirlarni) uzatish imkonini beradi. FR texnologiyasi yuzlab kbit/s dan bir necha o‘n Mbit/s gacha bo‘lgan uzatish tezligida ishlasa, ATM texnologiyasi esa, bir necha Gbit/s gacha bo‘lgan uzatish tezligida ishlay oladi. Bunday ulkan tezliklarda har qanaqa axborotlarni aloqa kanali bo‘yicha uzatganda yuqori ishonchlilik talab etiladi. Sababi arzimagan ta‘sir ham katta miqdordagi xatolarga olib keladi. Yuqori ishonchlilikni ta‘minlashning asosiy usullaridan biri – xatolarni aniqlovchi va to‘g‘irlovchi shovqinbardosh kodlarni qo‘llashdir.

Ba‘zi hollarda nazariy jixatdan kuchli bo‘lgan kodlarni qo‘llash ham effektiv natijani bermasligi mumkin. Bunga sabab aloqa kanallarida hosil bo‘ladigan xatolarning xarakteridir. Aloqa kanallaridagi xatolarning modelini yaxshi o‘rganib chiqqandan so‘ng, o‘rganilgan statistik ma‘lumotlarga asoslanib kerakli kodlar tanlanadi.

Bir karralik xatolar paketini to‘g‘irlashda Fayra kodi ishlatiladi. Fayra kodi ma‘lum uzunlikdagi xatolar paketini aniqlaydi va zarur hollarda to‘g‘irleydi. Xatolar paketi impulsli shovqinlar ta‘sirida yuz beradi. Impulsli shovqinlar ta‘sirida ko‘p karralik xatolar (bir karralik, ikki karralik, uch karralik va hokazo) ham sodir bo‘lishi mumkin. Bunday hollarda Fayra kodini ishlatish – xatolar paketi aniqlanmay o‘tkazilib yuborilishga olib kelishi mumkin.

Ko‘p karralik xatolar paketini aniqlash va to‘g‘irlashda ikkilik bo‘lmagan kod Rid – Solomon kodi qo‘llaniladi. Rid– Solomon kodi Galua maydonining elementlari asosida quriladi. Aniqlanadigan va to‘g‘irlanadigan xatolar paketining uzunligi Galua maydonining kengligiga bog‘liq.

Ushbu darslikda hozirgi kunda qo‘llanilayotgan axborotni kodlash, arxivlash va siqish, axborot uzatish tizimlarida ishonchlilik, shovqinbardosh kodlarning klassifikatsiyasi va parametrlari haqida so‘z boradi. Shuningdek, siklik kodlar turkumiga kiruvchi Fayra va Rid –

Solomon kodlarini qurish asoslari hamda ularni kodlashtirish va dekodlash usullari keltiriladi. Algebrik kodlashtirish va dekoderlashlarning algoritmlari berilgan bo'lib, u orqali jarayon mohiyatini osongina tushuntirish mumkin.

1-bob. FANNING ASOSIY TUSHUNCHALARI, ATAMALAR. AXBOROT VA ENTROPIYA

1.1. Axborot, entropiya va qo‘shimcha bit. Aloqa tizimlari va axborot teoremasi

Axborot tushunchasi. Axborot keng qamrovli tushuncha bo‘lib, unga quyidagicha ta’rif berish mumkin:

– dalil, voqea, xodisa, predmet, jarayon kabi obyektlar haqidagi bilim, hamda tushunchalar yoki buyruqlar;

– ma’lum xos matnda aniq ma’noga ega tushunchalarni ichiga olgan dalil, voqea, xodisa, predmet, jarayon, taqdimot kabi obyektlar haqidagi bilimlar majmui;

– qiziqish uyg‘otish mumkin bo‘lgan, saqlanishi va qayta ishlanishi lozim bo‘lgan jami dalil va ma’lumotlar;

– kitob matni, ilmiy formulalar, bank hisob raqamidan foydalanish va to‘lovlar, dars jadvali, yer va fazo stansiyasi o‘rtasidagi masofa to‘g‘risidagi ma’lumotlar va hokazolar axborot bo‘lishi mumkin.

Axborotlarni uzatish. Axborotni uzatish deganda extiyojdan kelib chiqib, uni bir kishidan ikkinchi kishiga yoki bir kompyuterdan ikkinchi kompyuterga turli vositalar yordamida yetkazib berish tushuniladi.

Axborotlarni uzatishning turli usullari mavjud:

– kompyuter dasturlari yordamida;

– pochta orqali;

– transport vositalari yordamida;

– aloqa tarmog‘i orqali.

Aloqa tarmog‘i orqali axborotlarni qisqa vaqt ichida uzoq masofaga uzatish mumkin. Bunda ma’lumotlarni uzatish vaqti sezilarli darajada qisqaradi.

Axborotning jamiyatda va kundalik xayotimizda tutgan o‘rni. Jamiyatni axborotlashtirish:

– mehnat;

– ilmiy tadqiqot;

– loyiha;

– ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish;

– aholiga xizmat ko‘rsatishni avtomatlashtirish;

– tashkiliy-iqtisodiy boshqarishni avtomatlashtirish;

– ta’lim va kadrlar tayyorlash tizimini axborotlashtirish kabi sohalarni o‘z ichiga oladi.

Jamiyatda axborot ham bilim manbai, ham eng asosiy muloqot vositasi bo'lib hisoblanadi.

Jamiyatni axborotlashtirishda radio, televidenie, ommaviy-axborot vositalari va Internet tizimining ahamiyati juda yuqoridir. Har kim, har doim biror ishni bajarish yoki biror maqsadga erishish uchun axborotdan foydalanadi.

Har bir inson:

- ob-havo prognozini;
- transport vositalari qatnovi jadvalini;
- bank va biznes ma'lumotlarini;
- kundalik yangiliklardan habardor bo'lishga muxtojdir.

Agarda inson kundalik axborotlar va yangiliklardan xabardor bo'lmas ekan u jamiyatdan uzilib qolishi muqarrar.

Axborot turlari. Bugungi kunda axborot uzatishning 5-ta turi mavjud (1.1-rasm):

- matn;
- ovoz;
- tasvir;
- video;
- ma'lumotlar.

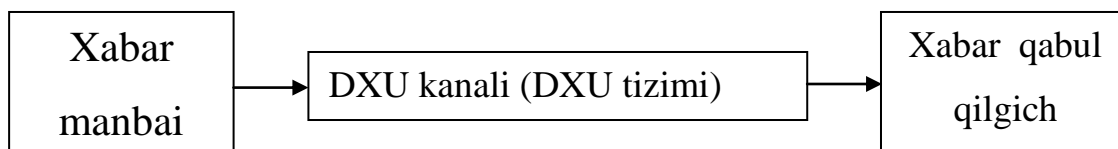
Har bir turdagi xabarlar uchun ma'lum o'tkazish maydoni mavjud.



1.1-rasm. Axborot turlari

Xabar - axborot taqdim qilish shakli hisoblanadi. Bitta xabar bir necha shaklda taqdim qilinishi mumkin. Masalan, telefon orqali berilayotgan axborot uzluksiz ko‘rinishda yoki telegramma ko‘rinishida, ya’ni diskret ko‘rinishda taqdim qilinishi mumkin. Telegraf orqali ma’lumot uzatilganda axborot xarflar yig‘indisi, ya’ni so‘z ko‘rinishida va sonlarda taqdim qilinadi.

Xabar tarkibidagi axborot qabul qiluvchiga diskret xabar uzatish (DXU) kanali orqali uzatiladi (1.2-rasm).



1.2 - rasm. Diskret xabar uzatish trakti.

Xabarning asosiy axborot tavsiflariga alohida xabar tarkibidagi axborot miqdori, entropiya hamda xabar manbasi unumdorligi kiradi.

Diskret xabar tarkibidagi axborot hajmini o‘lchov birligi bit hisoblanadi. U yoki bu xabar paydo bo‘lish ehtimolligi qanchalik kam bo‘lsa, uning qabulida olinadigan axborot shunchalik ko‘p bo‘ladi. Agar xabar manbai xotirasida bir – biridan holi (x_1 va x_2) xabarlar bo‘lib, ulardan birinchisining $P(x_1)=1$ ehtimollik bilan uzatiladigan bo‘lsa, u holda x_1 xabar axborot tashimaydi, chunki u oldindan xabar oluvchiga ma’lum deb hisoblanadi.

Bitta xabarga (x_i) to‘g‘ri keladigan axborot hajmi quyidagicha aniqlanadi:

$$I(a_i) = \log_2 \left[\frac{1}{P(a_i)} \right] = -\log_2 P(a_i)$$

bu yerda $P(x_i)$ – xabardagi x_i belgining paydo bo‘lish ehtimolligi.

Misol 1. Xabar manbai ikkita x_1, x_2 belgilardan iborat axborotni uzatishi kerak, ya’ni axborotdagi belgilar soni $N=2$ ga teng. Ikkala belgi ham bir – biriga bog‘liq emas va paydo bo‘lish ehtimolliklari bir xil. U holda axborot hajmini hisoblang?

Yechish: Agar x_1 va x_2 belgilar bir – biriga bog‘liq bo‘lmasa, ehtimolliklari bir – biriga teng bo‘lsa, unda $P(x_1)=P(x_2)=1/N=0,5$ ga teng bo‘ladi.

U holda axborot hajmi quyidagicha bo‘ladi:

$$I_{\max} = \log_2 0,5 = 1.$$

Agar axborotdagi belgilarni paydo bo‘lish ehtimolliklari bir – biriga teng bo‘lmasa axborot hajmi kamayadi, ya’ni u quyidagicha aniqlanadi:

$$I = \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i)$$

Agar axborotdagi belgilarning ehtimolliklari teng bo‘lmaslikdan tashqari, yana bir – biriga bog‘liq bo‘lsa, unda xabardagi axborot hajmi yanayam kamayib ketadi va quyidagiga teng bo‘ladi:

$$I = - \sum_{i=1}^n P\left(\frac{x_i}{x_j}\right) \log_2 P\left(\frac{x_i}{x_j}\right)$$

bu yerda $P\left(\frac{x_i}{x_j}\right)$ – i – belgining j - belgidan keyin paydo bo‘lish ehtimolligi.

Misol 2. Axborotdagi umumiy belgilar soni $N=32$ ga teng va barcha belgilarning paydo bo‘lish ehtimolliklari bir – biriga teng. U holda axborot hajmini hisoblang.

Yechish: Agarda barcha belgilarning paydo bo‘lish ehtimolliklari bir – biriga teng bo‘lsa $P = \frac{1}{N} = \frac{1}{32}$ bo‘ladi. U holda axborot hajmi:

$$I = \log_2\left(\frac{1}{P}\right) = \log_2 N = \log_2 32 = 5$$

Misol 3. Axborot faqat 0 va 1 belgilardan iborat bo‘lsin, ya’ni $N=2$ ga teng. U holda 1 ning paydo bo‘lish ehtimoli $P(1)=0,25$ ga teng. Xabardagi hamma belgilar ehtimolligi teng emas. U holda axborot hajmini hisoblang.

Yechish: Axborotdagi belgilarning paydo bo‘lish ehtimolligi har xil bo‘lganligi uchun axborot hajmi quyidagiga teng:

$$I = \frac{P(1) \log_2(1)}{P(1)} + \frac{P(0) \log_2 1}{P(0)} = \left(\frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4}\right) + \left(\frac{3}{4}\right) \log_2 \left(\frac{3}{4}\right) = 0,8$$

Shunday qilib, xabardagi belgilarning ehtimolliklari teng bo‘lmaganda axborot miqdori kamayadi.

Axborotdagi belgilarning paydo bo‘lish ehtimolligi bilan axborot hajmi o‘rtasidagi bog‘liqlik Klod Shennon teoremasida o‘z ifodasini topgan, ya’ni axborotdagi har bir belgiga mos keluvchi axborotni o‘rtacha hajmi (soniga) entropiya deb yuritiladi va quyidagicha aniqlanadi.

$$H(A) = -\sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i)$$

Entropiya – bu xabarlar manbaining holatidagi noaniqligining o‘lchovi ham hisoblanadi. Agar manba tomonidan 1 ga teng ehtimoli bilan faqat bitta belgi uzatilayotgan bo‘lsa, u holda entropiya nolga tengdir. Agar xabar manбайдan uzatilayotgan belgilar bir xil ehtimollik bilan paydo bo‘lsa, entropiya maksimal bo‘ladi.

Xabar manbai entropiyasini aniqlaymiz. Agar $N=2$ va $P(x_1)=P(x_2)=0,5$ bo‘lsa, u holda:

$$H(A) = -\sum_{i=1}^2 P(a_i) \log_2 P(a_i) = -0,5 \log_2 0,5 - 0,5 \log_2 0,5 = 1$$

Mustaqil hisoblash uchun topshiriqlar:

1-topshiriq. Uzatilayotgan axborotdagi belgilarning umumiy soni $N=k+p$ ga teng. Axborotda har bir belgining paydo bo‘lish ehtimolligi bir – biriga teng. U holda axborot hajmini aniqlang?

2-topshiriq. Axborot A va B belgilardan iborat. A belgining paydo bo‘lish ehtimolligi $P(A)=P(x_1)$, $P(B)=P(x_2)$ bo‘lsa, u holda axborot hajmini aniqlang?

3-topshiriq. Agar axborotdagi belgilarning paydo bo‘lish ehtimolligi $P(x_1)$, $P(x_2)$, $P(x_3)$, $P(x_4)$, $P(x_5)$ va $P(x_6)=1-P(x_1)+P(x_2)+P(x_3)+P(x_4)+P(x_5)$ bo‘lsa har bir belgiga mos keladigan axborotning o‘rtacha hajmini aniqlang?

Barcha topshiriqlarni hisoblash uchun qiymatlar 1.1-jadvalda keltirilgan.

Berilgan qiymatlar	Talabalik guvohnomasidagi oxirgi raqam									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P(x_1)$	0,23	0,25	0,24	0,21	0,22	0,25	0,21	0,22	0,26	0,23
$P(x_2)$	0,11	0,12	0,11	0,17	0,12	0,18	0,13	0,19	0,11	0,16
$P(x_3)$	0,14	0,19	0,12	0,19	0,11	0,15	0,16	0,14	0,13	0,16
k	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Berilgan qiymatlar	Talabalik guvohnomasidagi oxirgi raqamdan bitta oldingisi									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P(x_4)$	0,12	0,18	0,13	0,12	0,11	0,16	0,15	0,16	0,14	0,16
$P(x_5)$	0,13	0,12	0,2	0,1	0,12	0,16	0,13	0,11	0,11	0,16
p	4	8	4	6	8	2	2	4	6	8

Diskret xabar uzatish kanali uchun – kanal bo‘ylab axborot uzatish tezligi R tavsifi kiritilgan. U bir sekundda uzatiladigan bit miqdori bilan aniqlanadi. Kanal bo‘ylab axborot uzatish maksimal imkoni bo‘lgan tezlik qiymati kanalning o‘tkazish qobiliyati deyiladi va C xarfi bilan belgilanadi.

Kommutatsiya sohasida axborotni qabul qiluvchiga kelayotgan turli ko‘rinishi **ma’lumotlar** deb ta’rif berildi.

Ma’lumot - bu uzatish va qabul qilish uchun mo‘ljallangan axborotning bir ko‘rinishidir. Shu bilan birga axborotning bunday ko‘rinishi yordamida axborotni saqlash, qayta ishlash va shu kabi amallarni bajarish mumkin. Demak axborot tushunchasi ma’lumot tushunchasiga qaraganda umumiyroq.

Ma’lumotlar nazariyasi ma’lumotlarni uzatish, qabul qilish, ishlov berish va saqlashga bog‘liq bo‘lgan miqdoriy qonuniyatlarini o‘rganadi.

Aloqa kanalida elektr signallar xabar manbadan qabul qiluvchi tomon tarqalayotib turli xil tashqi ta’sirlar (shovqinlar)ga uchraydi. Qabul qiluvchi qurilma signal va shovqin aralashmadan uzatilayotgan xabarga maksimal mos keluvchi (eng o‘xshash) optimal diskret xabarni hosil qiladi. Buning uchun qo‘yidagi ketma-ket jarayonlar amalga oshiriladi:

- filtrlash;
- kuchaytirish;
- demodulyatsiya;
- diskret ketma –ketlikni dekodlash.

Amerikalik muhandis R. Xartli tomonidan aloqa kanallari bo'yicha uzatiladigan ma'lumotlarga miqdoriy o'lchamni kiritishga urinish bo'lgan.

R. Xartli aloqa kanallari bo'yicha uzatiladigan «ma'lumotlar miqdorini» ikkita teng huquqli natijalarga nisbatan va ulardan biriga «bit» nomini olgan ma'lumotlar birligini ko'rsatish yo'li bilan noaniqlikni olib tashlashni qabul qildi.

R. Xartli ma'lumotlar miqdorining logarifmik o'lchamini aniqlash bilan ma'lumotlar nazariyasiga asos soldi.

1928 R. Xartli ma'lumotlar miqdorini fizik tizimning holatlari soni bilan bog'ladi. Binobarin, u telegraf kompaniyasida muhandis bo'lib ishlagan, elektronchi, 70 tadan ortiq patentlar-ixtirolar muallifi, telegraf matnida bo'lgan ma'lumotlar miqdori haqida mulohaza qilgan.



Xartli Ralf
1888-1970

Ma'lumotlar statistik nazariyasining yaratuvchisi K. Shennon, R. Xartli va uning davradoshlarining natijasini umumlashtirdi.

Xartli-Shennon miqdoriy o'lcham uzatiladigan xabarning mazmundorlik (semantik) yoki qiymatligi, foydaliligi (pragmatik) tomonlarini baholashga da'vogarlik qilmaydi.

Xabarlar manbaining asosiy axborot xarakteristikalarini quyidagilar hisoblanadi:

1. Alohida simvollaridagi ma'lumotlar miqdori;
2. Entropiya;
3. Xabarning ortiqchaligi;
4. Xabarlar manbaining unumdorligi.

Diskret xabarlar manbai uzatiladigan xabarlar A alifbosi, bu alifboning K hajmi yoki simvollar soni, shuningdek simvollarining berilishi $P(a_i)$ ehtimolligi orqali xarakterlanadi.

1. Bitta simvolga to'g'ri keladigan ma'lumotlar miqdori quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$I(a_i) = \log_2 \frac{1}{P(a_i)} = -\log_2 P(a_i)$$

Ma'lumotlarni o'lchash birligi bit hisoblanadi.

Diskret xabarlar manbaining modelini qurish uchun alifboning hajmini va manbaining chiqishida alohida belgilarning paydo bo'lish ehtimolligini berilishi yetarli bo'ladi.

Shannon modeli – ergodik xabar manbai eng keng qo‘llaniladi. Bu model manba ergodik tasodifiy ketma-ketlik bo‘lishini ko‘zda tutadi.

Ergodik modelning xossalari:

– belgilarning ehtimolligi ularning ketma-ketlikdagi joyiga bog‘liq bo‘lmaydi;

– bitta uzun xabarda olingan statistik xarakteristikalar bu manba hosil qiladigan barcha xabarlar uchun to‘g‘ri bo‘ladi.

Agar belgilarning ehtimolligi vaqtga bog‘liq bo‘lmasa, u holda manba statsionar manba deyiladi. Agar belgilarning ehtimolligi oldingi holatlarga ham bog‘liq bo‘lmasa, u holda manba xotirasiz statsionar manba deyiladi.

Agar belgilar orasidagi korrelyatsiya o‘z o‘rniga ega bo‘lsa, u holda model sifatida Markov zanjiri ishlatiladi. Zanjirning tartibi nechta belgilar korrelyatsion bog‘langanligiga bog‘liq bo‘ladi.

2. Xotirasiz manbadan beriladigan bitta simvolga to‘g‘ri keladigan o‘rtacha ma’lumotlar miqdori quyidagi formula bo‘yicha aniqlanadi:

$$H(A) = -\sum_{i=1}^K P(a_i) \log_2 P(a_i)$$

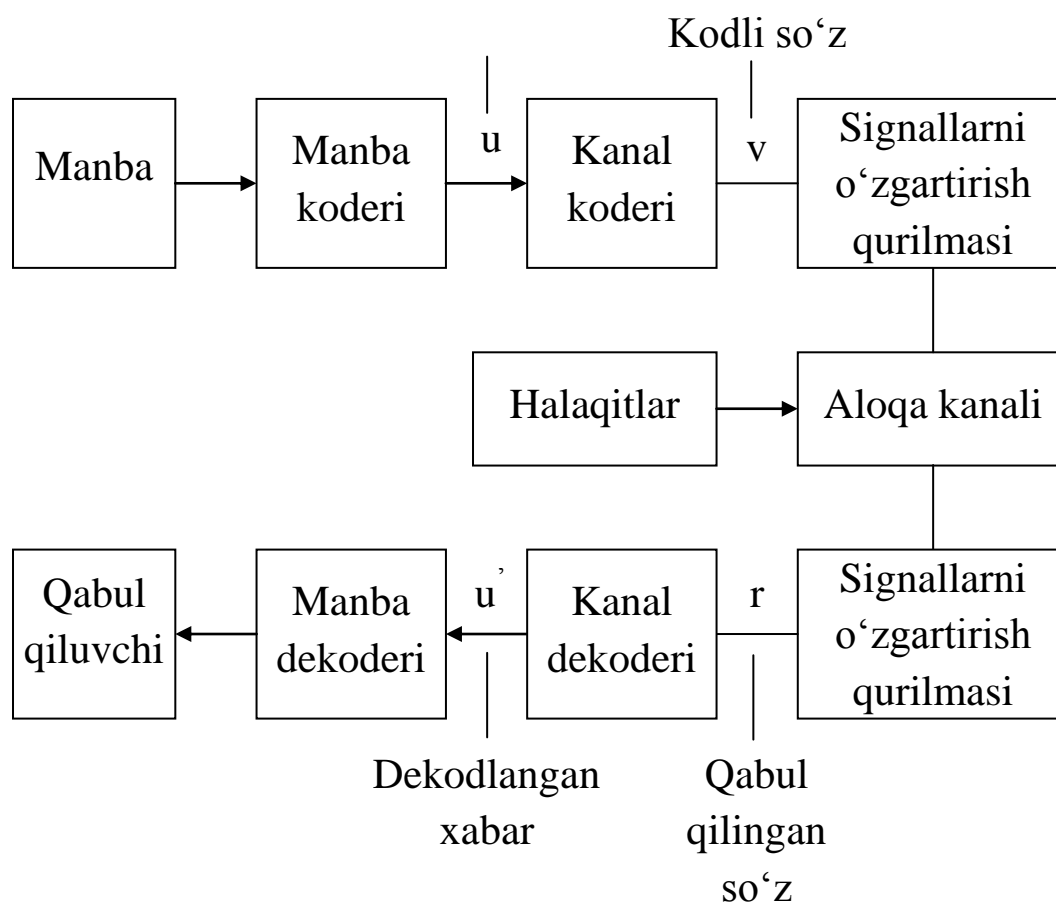
Bu ifoda diskret xabarlar manbai entropiyasi uchun Klod Shannon formulasi sifatida ma’lum.

Nazorat savollari:

1. Axborot tushunchasiga ta’rif bering?
2. Axborotni uzatishning qanday usullari mavjud?
3. Axborotni jamiyatda va kundalik xayotimizda tutgan o‘rni qanday?
4. Qanday axborot turlarini bilasiz?
5. Diskret xabarni uzatish deganda nima tushunasiz?
6. Entropiya nima?
7. Xabarlar manbaining asosiy axborot xarakteristikalarini nimalardan tashkil topgan?

1.2. Diskret manbaning axborot tavsiflari. Diskret manbalarini tasniflari

Ma'lumotlar nazariyasi masalalaridan biri berilgan ma'lumotlarni minimal simvollar soni yordamida uzatishga imkon beradigan eng tejamkor kodlash usullarini izlab topish hisoblanadi. Bu masala aloqa kanalida ham shovqinlar bo'lmaganida, ham bo'lganida hal etiladi. 1.3-rasmda diskret xabarlarini uzatish tizimining tuzilish sxemasi keltirilgan.



1.3-rasm. Diskret xabarlarini uzatish tizimining tuzilish sxemasi

Ma'lumotlarni ikki tomonlama uzatilishini ta'minlaydigan uzatish tizimi ko'p sonli ma'lumotlar manbalari va qabul qiluvchilari, uzatkichlar, qabullagichlar va aloqa kanallariga ega bo'lishi mumkin.

Birlamchi kodning kodli kombinatsiyalari ma'lumotlar manбайдan uzatkichga beriladi, u manba koderi, kanal koderi (xatoliklardan himoyalash qurilmasi) va signallarni o'zgartirish qurilmasi (SO'Q-MODEM)dan tashkil topgan. Aloqa kanali bo'yicha qabul qilingan signallar ma'lumotlarni qabul qiluvchiga beradi.

Ma'lumotlarni qabul qiluvchi ma'lumotlarni uzatish tizimi (MUT)ga qo'yadigan eng muhim talablari uzatish to'g'riligi, ma'lumotlarni yetkazilish muddatlari (ma'lumotlarni uzatish tezliklari) va MUTning ishlash ishonchliligiga talablar hisoblanadi.

Diskret xabarlarini uzatish tizimiga diskret kanal yoki ma'lumot uzatish kanali yoki ma'lumot uzatish trakti kirishi mumkin. Ma'lumotlar manbai va ma'lumotlarni qabul qiluvchi MUT tarkibiga kirmaydi.

Axborot jarayonlarining xilma-xilligi va unga turli sohalardagi keng qiziqish ma'lumotlar miqdorining ko'plab aniqlanishlarini keltirib chiqardi.

Ma'lumotlar miqdorini aniqlanishiga barcha yondashishlarni shartli ravishda beshta turlarga bo'lish mumkin:

- 1) entropiyali;
- 2) algoritmik;
- 3) kombinatorik;
- 4) semantik;
- 5) pragmatik.

Birinchi uchta tur tavsiflanadigan obyekt yoki hodisaning murakkabligini miqdoriy aniqlanishini beradi.

To'rtinchi tur xabarni qabul qiluvchi (foydalanuvchi) uchun uzatiladigan xabarning mazmundorligi va yangiligini tavsiflaydi.

Beshinchi tur foydalanuvchi uchun qabul qilingan xabarning foydaliligiga e'tiborni qaratadi.

Diskret xabarlar manbaining ortiqchaligi bu uning ehtimollik xarakteristikalarini ishlatilishi hisobiga xabarning bo'lishi mumkin qisqarishi (ma'lumotlar yo'qotilishisiz) hisoblanadi:

$$R = \frac{H_{\max}(A) - H(A)}{H_{\max}(A)} = 1 - \frac{H(A)}{H_{\max}(A)}$$

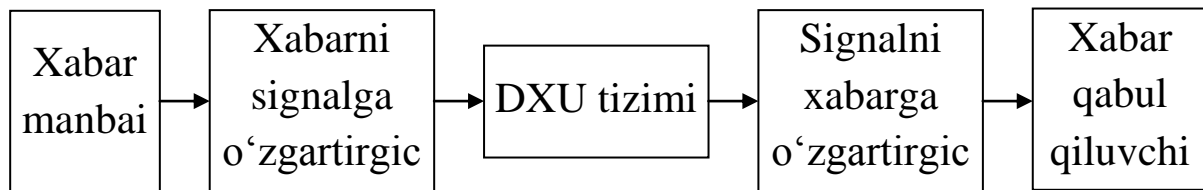
Vaqt birligi ichida xabarlar manbai beradigan o'rtacha ma'lumotlar miqdori manbaning unumdorligi deyiladi:

$$H'(A) = \frac{H(A)}{T},$$

bu yerda T – bitta simvolni uzatish uchun zarur bo'ladigan o'rtacha vaqt.

Manba tomondan kelib tushuvchi xabar telekommunikatsiya tizimida tashuvchi bo'lgan signalga o'zgartiriladi. Telekommunikatsiya tizimi signalni belgilangan sifat ko'rsatkichda muhitning bir nuqtasidan

boshqasiga yetkazishni ta'minlaydi. Tarkibida xabar – signal - xabar o'zgartirgichi bo'lgan xabar uzatish sxemasi 1.4 - rasmda keltirilgan.

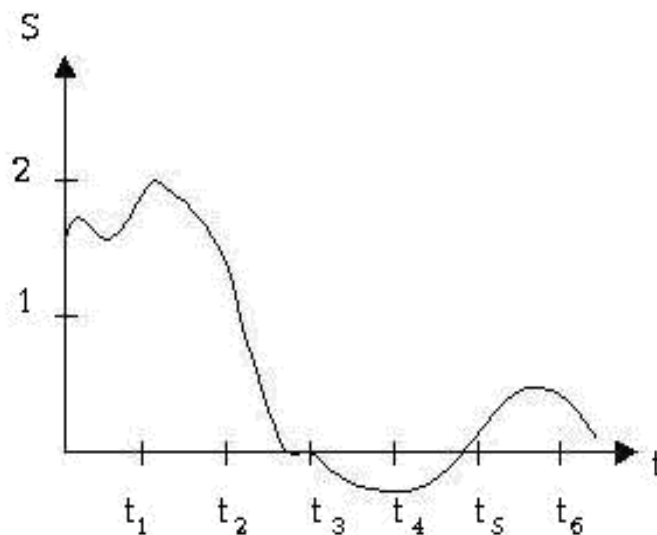


1.4 - rasm. Xabarni uzatish prinsipi

Signal turlari. To'rt turdagi signallar mavjud:

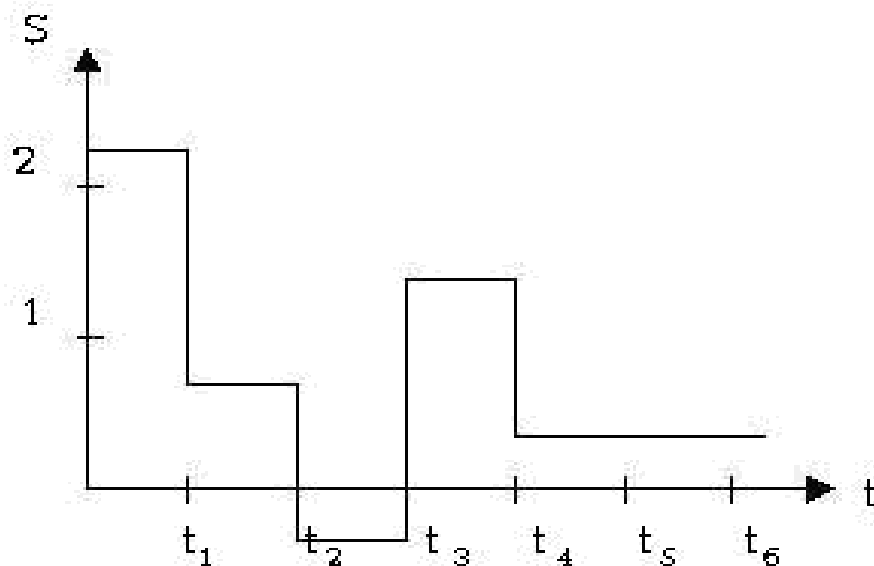
1. Uzlüksiz vaqtning uzluksiz signali.
2. Diskret vaqtning uzluksiz signali.
3. Uzlüksiz vaqtning diskret signali.
4. Diskret vaqtning diskret signali.

Uzlüksiz vaqtning uzluksiz signallari qisqacha uzluksiz (analog) signallar deb ataladi. Mavjud ko'plab mumkin bo'lgan uzluksiz qiymatlarning ixtiyoriy qabul qilishi, ixtiyoriy paytda o'zgarishi mumkin (1.5 - rasm). Bunday signallarga barchaga ma'lum bo'lgan sinusoidal signallar kiradi.



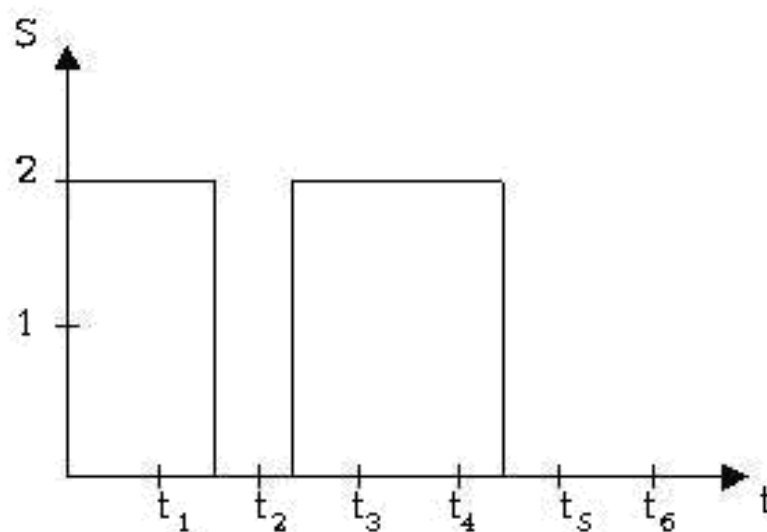
1.5 - rasm. Uzlüksiz vaqtning uzluksiz signali

Diskret vaqtning uzluksiz signallari ixtiyoriy qiymat qabul qilishi mumkin, faqat oldindan belgilangan (diskret) ma'lum t_1, t_2, t_3, \dots paytlarda o'zgaradi (1.6 - rasm).



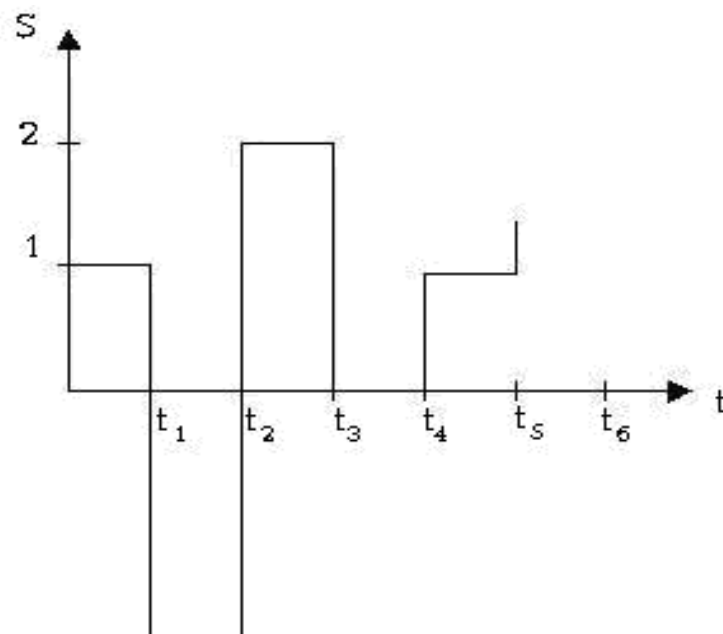
1.6 - rasm. Diskret vaqtning uzluksiz signali

Uzluksiz vaqtning diskret signallardan farqi shundaki, ular ixtiyoriy paytda o'zgarishi mumkin, ammo ularning kattaligi ruxsat etilgan (diskret) qiymatni qabul qiladi (1.7 - rasm).



1.7 - rasm. Uzluksiz vaqtning diskret signali.

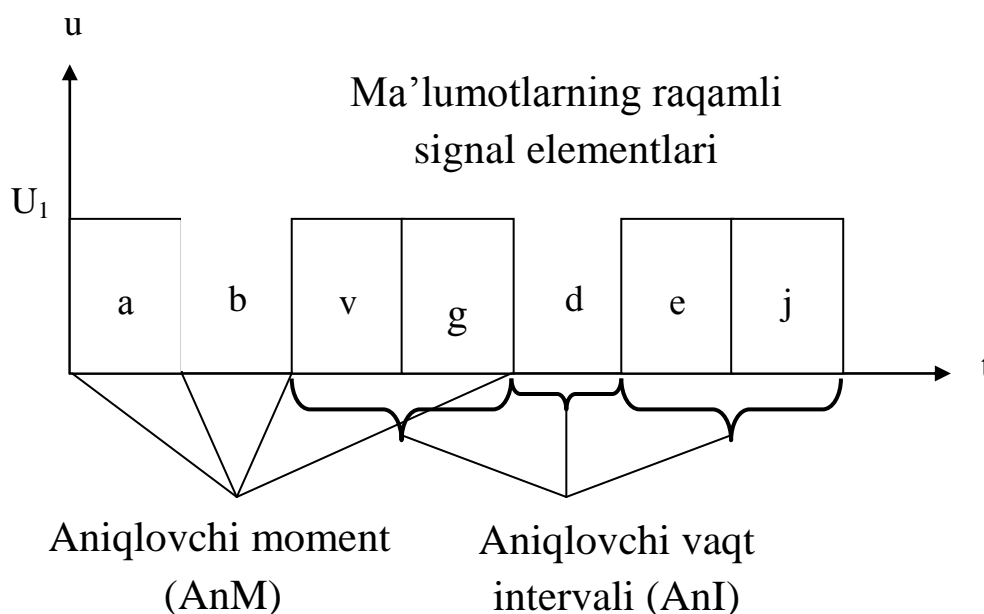
Diskret vaqtning diskret signallari (qisqacha diskret signallar) (1.8 - rasm) diskret vaqt paytida faqat ruxsat etilgan (diskret) qiymat qabul qilishi mumkin.



1.8 - rasm. Diskret signal

Diskret xabarni signalga o'zgartirgich (XSO') chiqishida tashkil qilinayotgan signal qoidaga ko'ra axborot parametri bo'yicha diskret hisoblanadi.

Ma'lumot uzatish texnikasida bunday signallar ma'lumotlarning raqamli signali (MRS) deb nomlanadi. 1.9 - rasmda taqdim etish parametri amplituda bo'lgan va bu parametrning qiymati ko'pligi ikkitaga teng ($u+U_1$ va $u+0$) bo'lgan MRS tasvirlangan.



1.9 - rasm. Ma'lumotlarning raqamli signali

Signalning taqdim etish parametri holatining aniqlangan qiymati aniqlovchi pozitsiyasi bo'radi. Signal aniqlovchi pozitsiyasi almashinish momenti aniqlovchi moment (AnM) deyiladi. Signal ikki qo'shni aniqlovchi momenti orasidagi vaqt intervali aniqlovchi vaqt intervali (AnI) deyiladi.

Diskret kanal aloqa kanali va signal hosil qiluvchi qurilmalardan tashkil topgan.

Signal hosil qiluvchi (S'HQ) qurilmalarda ma'lumot signallari telekommunikatsiya kanallari orqali uzatilishi uchun mos shaklga keltiriladi va diskret signallarning parametrlari bilan aloqa kanallarini, hamda aloqa kanallari parametrlarini moslashtiradi. Shu bilan birga qabul qismida oldingi holatiga qaytarishni amalga oshiradi. Diskret kanal va xatolardan himoyalovchi qurilmalar majmuasi ma'lumot uzatish kanalini tashkil qiladi. Xatolardan himoyalovchi qurilmalar, to'sqinlar natijasida ma'lumot signallarida sodir bo'ladigan xatolar sonini kamaytirish uchun ishlatiladi.

Ma'lumot uzatish trakti, xabarni ishonchli uzatilishini ta'minlab beruvchi guruhli qurilmalar (GQ) va zaxiralashgan uzatish kanallarining majmuasidir.

Xabarlar diskret ma'lumot uzatish (DMU) tizimida bir necha bosqichlar va jarayonlarni bosib o'tadi. Xabar manbasi (XM) uzatish uchun tayyor bo'lgan ma'lumotni tanlaydi: xabar elementlari (xarf, belgi, son) xatolardan himoyalovchi qurilmada qayta ishlanadi, ya'ni aniq bir qonun - qoida asosida kodlashgan ikkilik signallar ketma - ketliklari hosil qilinadi. Bu ketma - ketlik signal hosil qiluvchi qurilma yordamida signal tashuvchisining parametrlari ma'lum bir formulaga mos ravishda o'zgartiriladi va manipulyatsiyalashgan ketma - ketlik hosil qilinadi. Aloqa kanalida elektr signallar xabar manbadan qabul qiluvchi tomon tarqalayotib turli - xil tashqi ta'sirlar (shovqinlar)ga uchraydi. Qabul qiluvchi qurilma signal va shovqin aralashmadan uzatilayotgan xabarga maksimal mos keluvchi (eng o'xshash) optimal diskret xabarni hosil qiladi. Buning uchun quyidagi ketma - ket jarayonlar amalga oshiriladi:

- filtrlash;
- kuchaytirish;
- demodulyatsiya;
- diskret ketma – ketlikni dekodeqlash.

Aloqa kanallarining DMU uchun yaroqligi birinchi navbatda uning amplituda – chastota xarakteristikasi (AChX) va faza – chastota xarakteristikalari (FChX) bilan baholanadi.

AChX – kanaldagi qoldiq so‘nishni chastotaga bog‘liqligini ifodalaydi.

FChX – doimiy kanalning fazasini chastotaga bog‘liqligini ifodalaydi.

Signallarning buzilishini asosiy sabablaridan biri bu - xarakteristikalarining nochiziqliqi, fazaning titrashi, akslanishi, tashuvchi chastotalarning surilishi va to‘sqinlarning mavjudligidir.

Signalning ikkilik ketma - ketligi diskret kanal kirishida S’HQ qurilma yordamida manipulyatsiyalangan ketma - ketlikga aylantiriladi va chiqishda esa yana ikkilik ketma - ketlik hosil qilinadi. Chunki, aloqa kanalida additiv va multiplikativ to‘sqinlar mavjud bo‘lib ular ikkilik signallarga ta’sir ko‘rsatadi.

To‘sqinlar quyidagicha guruhlanadi:

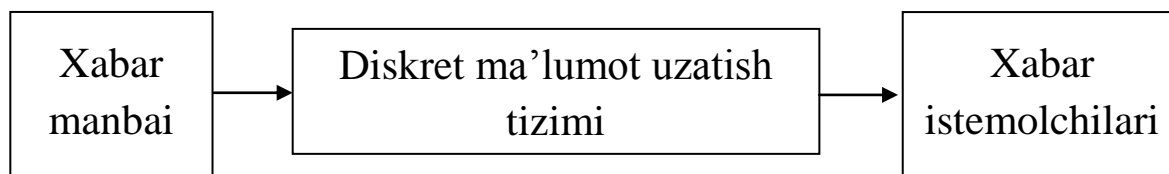
1) Additiv:

- fluktuatsion;
- garmonik;
- impulsli.

2) Multiplikativ:

- kontaktlarning buzilishi;
- operator xatolari;
- chastota surilishi;
- qoldiq so‘nishning o‘zgarishi;
- faza sakrashi.

Diskret ma’lumot - bu axborotni uzatish, saqlash, hosil qilish va qayta ishlash maqsadida diskret signallar orqali ifodalangan shaklidir. Axborotni aynan diskret signallar orqali ifodalanishiga sabab, bu hozirgi zamon va kelajakda barcha qurilmalarning raqamli bo‘lishidir. Chunki, raqamli qurilmalar aynan diskret ma’lumotlar orqali muloqot qiladi. DXU bu - xabar manbai, diskret ma’lumot uzatish tizimi, xabar iste’molchilar orasidagi muloqotni ta’minlash yo‘llari va qonun - qoidalarini o‘rganadi (1.10 – rasm).



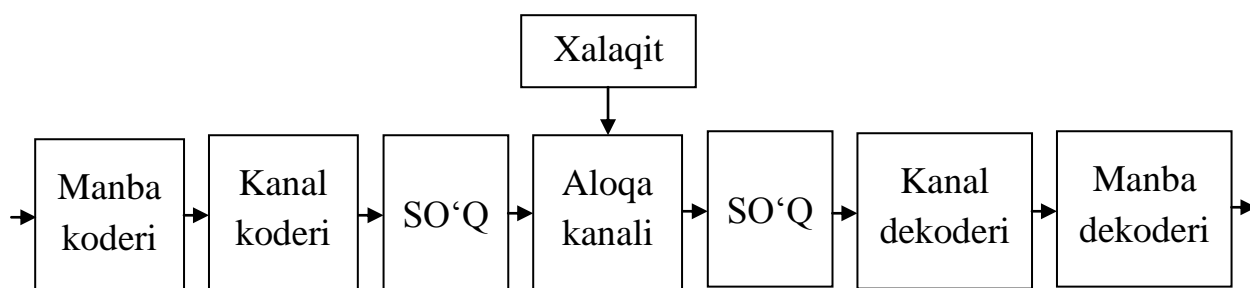
1.10 –rasm. Diskret xabarlarini uzatish tizimi

Xabar manbai - bu axborotlar majmuasidan uzatish uchun kerakligini tanlab, uni ma'lumot shakliga keltiruvchi shaxs yoki qurilma.

Xabar iste'molchi - bu axborot yetkazib berilishi lozim bo'lgan shaxs yoki qurilma.

Diskret ma'lumotlar uzatish tizimi (DMUT) – bu manbadan iste'molchiga ma'lumot oqimini uzatilishini ta'minlab beruvchi texnik vositalar majmuasidir.

DXU tizimi. DXU tizimining tuzilish sxemasi 1.11 - rasmda ko'rsatilgan. XSO', manba hamda xabar qabul qiluvchi birgalikda DXU tizim tarkibiga kirmaydi. Diskret xabar manбайдan keluvchi simvollar $a_i \in A$, birlik elementlari kodli kombinatsiya ko'rinishida keladi. Kodli kombinatsiyalar asosan (n, k) ko'rinishida bo'lib bular, n - kod uzunligini, k – ma'lumotlar uzunligini ko'rsatadi.



1.11 - rasm. DXU manba struktura sxemasi SO'Q-signal o'zgartirish qurilmasi.

Kodning asosi - ma'lumot manбайдan kelayotgan signalni aniqlovchi pozitsiyalarining mumkin bo'lgan sonini ifodalaydi.

DXU texnikasida 2 asosli kodlar keng tarqalgan. Bunday kodlar ko'pincha ikkilik yoki binar kodlar deb ataladi.

Ikkilik kodlarning keng qo'llanishining asosiy sabablari - amalga oshirishning oddiyliigi, ikkilik mantiq elementlarining ishonchliligi, tashqi shovqinlarga kam sezuvchanlik va boshqalardir.

Bu xabarning (qandaydir) qismini yubormaslik imkonini beradi, uni qabul qilishda ma'lum statik aloqa orqali qayta tiklaydi. Masalan, telegramma uzatilganda tekst bog'lovchi, qo'shimcha tinish belgilarisiz qabul qilinadi, chunki ularni telegramma o'qilayotganda ibora va so'zlarning tuzilish qoidalari asosida qayta tiklash qiyin emas. Albatta qabul qilinayotgan telegrammada ortiqcha elementlarni bo'lishi, ba'zi buzilgan so'zlarni oson to'g'irlash imkonini beradi. Lekin, qo'shimcha berilgan vaqt oralig'ida kam xabar uzatilishiga olib keladi, shu sababli

diskret xabar uzatish kanali kam samarali ishlatiladi. Diskret xabar uzatish tizimi uzatilishida ortiqcha elementlarni qo‘shish vazifasini koder bajaradi.

Uzatish ishonchliligini oshirish maqsadida, qabul qilishda xatoni aniqlovchi xatto uni to‘g‘irlovchi kodlar ishlatiladi.

Kodlash jarayonida boshlang‘ich kodli kombinatsiyani o‘zgartirish natijasida kodli kombinatsiyani olamiz. Kanal koderining kodlash jarayonida kodli kombinatsiyaga qo‘shimcha elementlar kiritiladi. Qabul qilishda kanal dekoderi teskari o‘zgartirish (dekodlash) natijasida boshlang‘ich kod kombinatsiyasini olamiz. Odatda kanal koder va dekoderlarini xatodan himoyalovchi qurilma (XHQ) deb atashadi. Uzluksiz aloqa kanali, hamda kanal koder va dekoderlarini moslash maqsadida, uzatish va qabul qilishda SO‘Q ishlatiladi. Xususiy xollarda bu - modulyator va demodulyatorlardir. Aloqa kanali bilan SO‘Q diskret kanalli, ya’ni faqat diskret signal uzatishiga mo‘ljallangan kanalni tashkil qiladi.

Sinxron va asinxron diskret kanallar bo‘lishi mumkin. Sinxron diskret kanallarda xar - bir birlik element kiritilishi aniq belgilangan vaqt momentida bajariladi va ular faqat izoxron signal uzatishga mo‘ljallangan. Asinxron kanal bo‘ylab ixtiyoriy turdagi signal - izoxron, anizoxron signallarni uzatishi mumkin, shu sababli ular «tiniq» nomini olganlar. Sinxron kanallar esa «tiniq emas».

Diskret kanal koder va dekoder kanal bilan birgalikda kengaytirilgan diskret kanal (KDK) deyiladi.

Diskret kanal axborot uzatish tezligi bilan tavsiflanadi va bit/s da o‘lchanadi. Diskret kanalning boshqa xarakteristikasi - telegraflash tezligi birligi Boddir (Bod). Ma’lumot uzatish texnikasida va telegraf tezligi termini o‘rniga «modulyatsiya tezligi» termini ishlatiladi.

Diskret kanalning muhim xarakteristikasi - bu birlik element uzatish to‘g‘riligi element bo‘yicha xatolik koefitsenti orqali aniqlanadi:

$$k_{xato} = \frac{n_{xato}}{n_{uzatish}}$$

ya’ni, (n_x) xato qabul qilingan elementlarning, taxlil intervalida umumiy uzatilgan elementlarga (n_u) nisbati.

Ma’lumot uzatish kanali tavsiflari uchun quyidagi parametrlar ishlatiladi:

- kodli kombinatsiya bo‘yicha xatolik koefitsenti;
- samarali axborot uzatish tezligi.

Kodli kombinatsiya bo'yicha xatolik koeffitsienti kodli kombinatsiya uzatish to'g'riligi bilan tavsiflanadi va xato qabul qilingan kodli kombinatsiyaning soni berilgan vaqt intervalida uzatilganlar soniga nisbati bilan aniqlanadi.

Samarali tezlikni aniqlashda ma'lumot uzatish kanaliga kelib tushgan barcha kombinatsiyalar qabul qiluvchiga berilmasligi ko'zda tutiladi. Kombinatsiyalarning ba'zi qismlari yaroqsizlanishi mumkin. Bulardan tashqari kanalga uzatilayotgan barcha elementlar axborot tashimasligi nazarga olinadi.

DXU tizimlarida diskret signallar ketma - ket yoki parallel uzatilishi mumkin. Ketma - ket uzatishda birlik elementlar, kanalda navbatma - navbat jo'natiladi. Paralell uzatishda birlik elementlar bir necha birlik elementlardan tashkil topgan guruhga birlashtiriladi. Guruh tashkil qiluvchi elementlar alohida kanallar orqali bir vaqtning o'zida (odatda har - xil chastota polosasida) uzatiladi. Berilgan uzatish tezligida ketma - ket tizimlar (bir chastotali) paralell tizimlarga (ko'p chastotali) nisbatan bir qancha ustunliklarga ega.

Kodli kombinatsiya elementar ikkilik signallaridan tashkil topgan tarkibiy signalni o'zida namoyon etadi. Bunda qayd qilingan tarkibiy signalni etalonlar bilan solishtirgan holda butunligicha qayta ishlash mumkin. Lekin bu holda mumkin bo'lgan kodli kombinatsiya soniga qadar etalon miqdori ancha ko'p bo'ladi. Butunligicha qabul qilish katta ishonchlilikni ta'minlasada, lekin amal qilinish murakkabligi jihatdan bu chegaralangan miqdorda tadbiiq qilinadi.

DXU texnikasida uzatilgan simvollarni to'g'ri qabul qilinishini ta'minlash maqsadida bir qancha sinxronizatsiya vazifalarini yechish zarur.

Sinxronizatsiya bu ikki yoki bir qancha jarayonlar o'rtasida ma'lum vaqt bog'lanish o'rnatish va ushlab turish jarayonidir. Aloqa texnikasida, odatda uzatkich tomonidan ishlab chiqarilayotgan, qabul qilgichdagi signallar o'rtasida ma'lum faza bog'lanishini o'rnatish va ushlab turish vazifasini yechishga to'g'ri keladi.

Aloqa kanalida uzatilayotgan signal turiga qarab analog (uzluksiz) hamda raqamli (diskret) kanallar mavjud. Analog kanallarda uzatkich xabar manbani uzluksiz kanal bilan o'zaro moslash qurilmasi vazifasini bajaradi, ya'ni u uzluksiz yoki diskret xabarni ushbu aloqa kanalidan uzatilishga mo'ljallangan strukturalar parametriga ko'ra uzluksiz bo'lgan signalga o'zgartiradi.

Bunday kanallarda muhit hamda signal parametrlarini moslash maqsadida amplituda, chastota, faza hamda kvadrat–amplitudali modulyatsiya qo‘llaniladi.

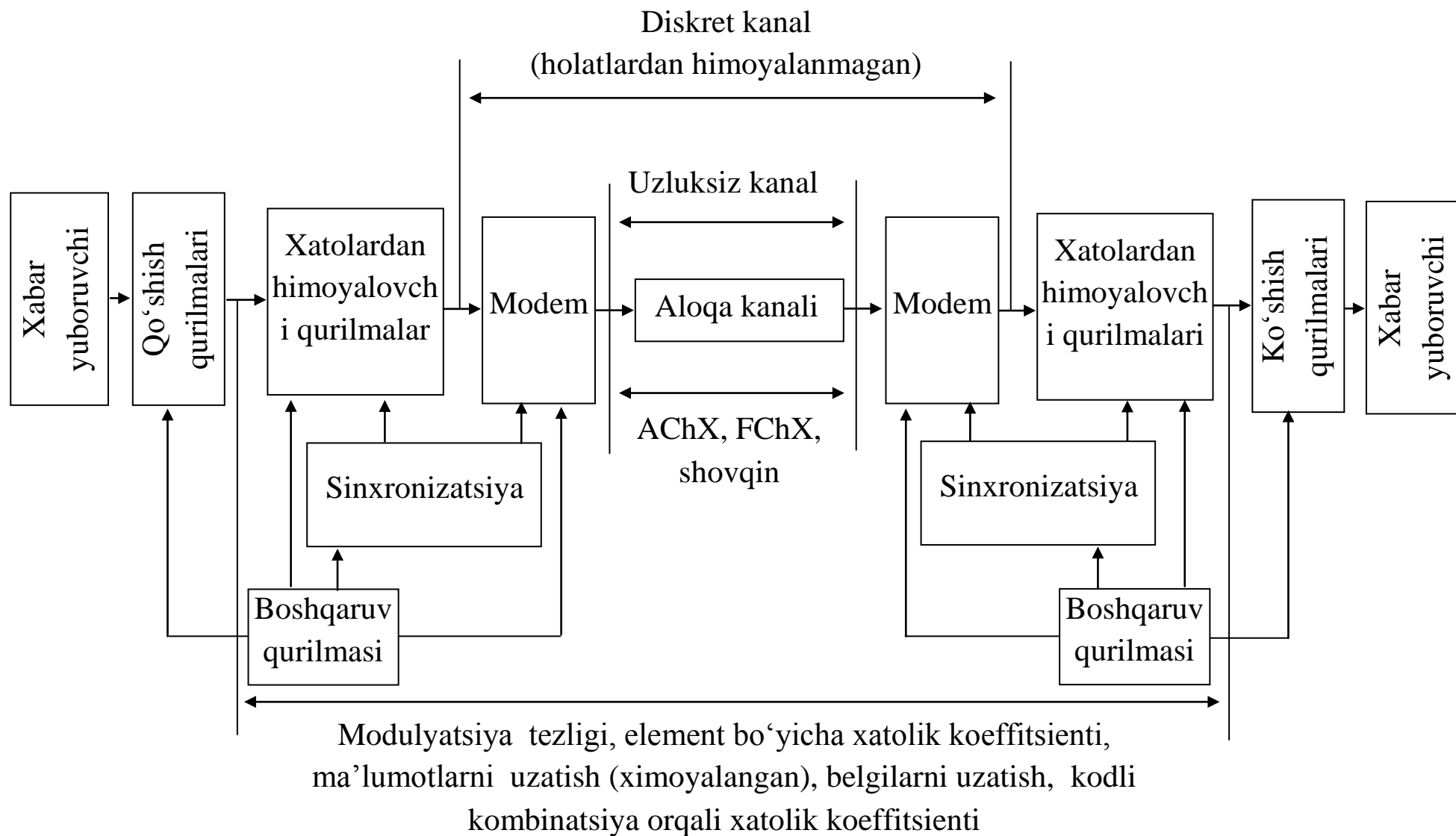
DXU uchun quyidagi funksional tugunlardan foydalaniladi (1.12 - rasm):

- kiritish qurilmalari (xabar manbai - yuboruvchi);
- xatolardan himoyalovchi qurilma (XHQ);
- signal hosil qiluvchi qurilmalar (S’HQQ);
- aloqa qanali;
- chiqaruv qurilmalari;
- akslantiruvchi qurilmalar.

Xabarning qanday ko‘rinishda ekanligiga va signal tashuvchining parametrlariga qarab xabarlar ketma - ketligi diskret kanalga yoki ma’lumot uzatuvchi kanalga kelib tushadi.

Diskret kanal aloqa kanali va S’HQQlardan tashkil topgan. S’HQQlarda ma’lumot signallari telekommunikatsiya kanallari orqali uzatilishi uchun mos shaklga keltiriladi va diskret signallarning parametrlarini aloqa kanallari bilan moslashtiradi. Shu bilan birga qabul qismida qayta hosil qilish (oldingi holatiga qaytarish)ni amalga oshiradi.

Diskret kanal va XHQ majmuasi ma’lumot uzatish kanalini tashkil qiladi, to‘sqinlar natijasida ma’lumot signallarida sodir bo‘ladigan xatolar sonini kamaytirish uchun ishlatiladi.



1.12-rasm. Ma'lumotlarni uzatish tizimining tuzilish sxemasi

Nazorat savollari:

1. Ma'lumotlar miqdorini aniqlanishiga qarab barcha yondashishlarni shartli ravishda nechta turlarga bo'lish mumkin?
2. Qanday signal turlarini bilasiz?
3. Qanday to'sqin turlarini bilasiz?
4. Diskret ma'lumot deganda nima tushunasiz?
5. Diskret ma'lumotlarni uzatish uchun qanday funksional tugunlardan foydalaniladi?

1.3. Manbani kodlash. Axborot hajmi. Diskret kanalda kodlash. O'zaro bog'liq axborot va uning xususiyatlari

Shovqinli diskret kanalda qabul qilingan y' belgi, berilgan y belgi bilan bir ma'noni anglatmaydi. Qabul qilingan va uzatilgan belgilarga bog'liq bo'lgan ma'lum $P(y'_j / y_i)$ ehtimollikdagi o'tishlar mavjud.

Kanalning kirish qismiga o'tuvchi Y^n belgilarni turli ketma-ketligini ko'rib chiqamiz. Har bir Y_i^n ketma-ketlik kanalning chiqishidagi turli ketma-ketliklarga o'tib ketishi mumkin. Ketma-ketlikda qabul qilingan ma'lumotlar soni uzatilgan ma'lumotlar soni bilan nisbati quyidagiga teng:

$$I(Y_i^n, Y_j^n) = \log \frac{P(Y_i^n / Y_j^n)}{P(Y_j^n)},$$

shovqinli kanaldan uzatilgan belgilardan iborat ketma-ketlikdagi $I(Y^n, Y^n)$ ma'lumotlarning o'rtacha soni, barcha mumkin bo'lgan uzatish va qabul qilishlar ketma-ketligi, kanalning barcha holatlari, agar u mavjud bo'lsa matematik kutilma sifatida belgilanadi.

Ma'lumotlarning bu hajmi kanalning xususiyatlari va kanalning kirishida belgilarni tarqalish ehtimolligiga bevosita bog'liq.

Diskret kanal kirishiga vaqt birligida v belgi kirmoqda deylik. Agar ba'zi tarqalishlarda kirishdagi belgilar ehtimolligi oshganda

$$I'(y, y') = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{v}{n} I(Y^n, Y^n)$$

kanalda ma'lumotni uzatish tezligini namoyon etadi.

Kanalning o'tkazuvchanlik xususiyati kirishdagi belgilarni barcha mavjud tarqalishlar ehtimolligini yuqori chegarasi $I'(y, y')$ hisoblanadi.

Alohida hollarda doimiy kanal uchun:

$$I'(y, y') = v \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m'} P(y_i, y'_j) \log \frac{P(y_i, y'_j)}{P(y_i)P(y'_j)} = H'(y) - H'\left(\frac{y}{y'}\right) = H'(y') - H'\left(\frac{y}{y'}\right)$$

O'tkazuvchanlik qobiliyatini hisoblash hatto doimiy kanallarda ham umumiy holda yetarlicha murakkab masala hisoblanadi.

Xotira kanallarining o'tkazuvchanlik qobiliyati har doim ham aniq bo'lavermaydi. Shuningdek, real aloqa kanallarini diskret tarzda namoyon etish uchun odatda axborotga yaroqli diskret kanallarning belgilangan o'tkazuvchanlik qobiliyatiga ega matematik model ko'rinishida tasvirlash mumkin.

Bunday shakllar bilan o'tkazish ehtimolligi belgilar yoki kanallarning avvalgi ketma-ketligining oxirgi kesimi yoki oxirgi holatlar sonini aks ettiruvchi va shu asosida hozirgi holatni avvalgi holatlar hamda oxirgi uzatilgan belgilarga ko'ra aniqlashtiruvchi qobiliyati cheklangan xotiraga ega kanallar belgilanadi.

Shu narsa qiziqki, xabarlarni ko'p bora qaytarish shovqinbardoshlikni oshishiga va shu bilan birga ortiqcha xabarlar sonini oshishiga olib keladi. To'liq ishonchlilikni ta'minlash uchun qayta xabar jo'natishlar sonini oshirish, bunda ortiqcha xabarlar soni cheksiz oshishi, natijada esa kanalning o'tkazuvchanlik qobiliyati nolga intilishi amaliy jihatdan isbotlangan.

Boshqacha yo'l bilan shovqinli kanallar orqali xabarlar ishonchliligini oshirishga xalaqitlarga bardoshli kodlashning Shannon teoremasini qo'llash mumkin. Bu teorema ma'lumotlar uzatish kanallarida qo'llash uchun mo'ljallangan va u quyidagicha aks etadi:

Diskret kanal C o'tkazuvchanlik qobiliyatiga, xabarlarning diskret manbasi H (bit/sek) samaradorlikka ega. Xabarlar manbasi sekundiga H ta axborot hosil qiladi. Agar $H \leq C$ kodlash tizimi bo'lsa, xabarlar kanallar orqali nisbatan kam xatolik ehtimolligi bilan uzatiladi. Agarda $H \geq C$ bo'lsa unda $(H-C)$ qiymatga qadar u yoki bu kodlashdan foydalaniladi.

Teoremadan shuni xulosa qilish mumkinki, xatolik ehtimolligini kamaytirish uchun xabarlar uzatish tezligini kamaytirish, bunda tezlik kanalning o'tkazuvchanlik qobiliyati qiymatiga teng yoki undan kam bo'lishi zarur.

Xabarlar manbai uchun Shannon teoremasi. Klod Shannon tomonidan 1948 yilda ta'riflangan asosiy kodlash teoremasi $H(A)$ manbaning entropiyasi va \tilde{n} kodli so'z ikkilik simvollarining o'rtacha soni orasidagi bog'lanishni o'rnatadi:

– istalgan bir qiymatli kod uchun doimo quyidagi tengsizlik bajariladi:

$$\tilde{n} \succcurlyeq H(A)$$

– quyidagi tengsizlik bajariladigan bir qiymatli dekodlanadigan kod mavjud:

$$\tilde{n} \preccurlyeq H(A) + 1$$

Bu kodli so'zning o'rtacha uzunligi entropiyadan kichik bo'ladigan manbani kodlash mumkin emasligini bildiradi. Bundan tashqari, kodli so'zning o'rtacha uzunligi manba entropiyasidan birmuncha katta bo'ladigan kod albatta mavjud bo'ladi.

Xabarlar manbai kanalning o'tkazish qobiliyatidan kichik bo'ladigan har qanday unumdorligida manba ishlab chiqaradigan barcha xabarlarni aloqa kanali bo'yicha uzatilishiga imkon beradigan kodlash usuli mavjud bo'ladi.

Agar manbaning unumdorligi kanalning o'tkazish qobiliyatidan ortiq bo'lsa, cheklanmagan xabarlarni uzatilishini ta'minlaydigan kodlash usuli mavjud emas.

Shannon yaratgan nazariya asosida nutq, faksimil va televizion xabarlardagi ortiqchaliklarni sezilarli qisqartirishga imkon beradigan algoritmlar ishlab chiqilgan. Bu qayd etilgan, mobil va sun'iy yo'ldoshli samarador raqamli tizimlar, shuningdek raqamli ovoz va televizion uzatishning keskin rivojlanishiga olib keldi.

O'zaro ma'lumotlar tushunchasi ma'lumotlarni uzatish nazariyasida keng ishlatiladi. O'zaro ma'lumotlarga talablar iste'molchi qaysi ma'lumotlar bilan ishlashiga bog'liq ravishda turlicha bo'ladi.

Agar X va Y aloqa kanalining kirishi va chiqishidagi xabarlar bo'lsa, u holda iloji boricha ko'p ma'lumotlarni olish uchun uning qabul qiluvchisida o'zaro ma'lumotlar uncha katta bo'lmagan bo'lishi kerak. U holda $H(X/Y)$ shartli entropiya bu aloqa kanalidagi ma'lumotlarning yo'qotilishi (kanalning ishonchsizligi) hisoblanadi.

$H(X/Y)$ shartli entropiya bu aloqa kanaliga tashqaridan keladigan yoki kanaldagi ichki halaqitlar hosil qiladigan halaqitlar haqidagi ma'lumotlar ($H(n)$ halaqitlar manbai entropiyasi) hisoblanadi.

O'zaro ma'lumotlar – bitta tasodifiy kattalikdan boshqasiga nisbatan mavjud bo'ladigan ma'lumotlar miqdorini tavsiflaydigan ikkita tasodifiy kattaliklarning statistik funksiyasi hisoblanadi.

O'zaro ma'lumotlar ikkita tasodifiy kattaliklarning entropiyasi va shartli entropiyasi orqali quyidagicha aniqlanadi:

$$L(X, Y) = H(X) - H(X/Y) = H(X) + H(Y) - H(X, Y)$$

O'zaro ma'lumotlar tasodifiy kattaliklarning simmetrik funksiyasi hisoblanadi:

$$L(X, Y) = L(Y, X)$$

O'zaro ma'lumotlar manfiy bo'lmagan va argumentlarning axborot entropiyasidan ortiq bo'lmaydi:

$$0 \leq L(X, Y) \leq \min[H(X), H(Y)]$$

O'zaro ma'lumotlar bog'liq bo'lmagan tasodifiy kattaliklar uchun nolga teng bo'ladi:

$$L(X, Y) = H(X) - H(X/Y) = H(X) - H(X) = 0$$

Bitta tasodifiy kattalik (masalan, X) boshqa tasodifiy kattalikning (masalan, Y) determinantlangan funksiyasi bo'lganida o'zaro ma'lumotlar entropiyaga teng bo'ladi:

$$L(X, Y) = H(X) - H(X/Y) = H(X) - 0 = H(X)$$

Shartli o'zaro ma'lumotlar bu berilgan uchinchi tasodifiy kattalikning qiymat shartida bitta tasodifiy kattalikdan boshqasiga nisbatan mavjud bo'ladigan ma'lumotlar miqdorini tavsiflaydigan uchta tasodifiy kattaliklarning statistik funksiyasi hisoblanadi:

$$L(X, Y/Z = z) = H(X/Z = z) - H(X/Y, Z = z)$$

Shartsiz o'zaro ma'lumotlar bu berilgan uchinchi tasodifiy kattalikning qiymati shartida bitta tasodifiy kattalikdan boshqasiga

nisbatan mavjud bo'ladigan ma'lumotlar miqdorini tavsiflaydigan uchta tasodifiy kattaliklarning statistik funksiyasi hisoblanadi:

$$L(X, Y/Z) = H(X/Z) - H(X/Y, Z)$$

O'zaro ma'lumotlar yordamida X tizimni bevosita kuzatishni o'tkazilishi bilan X tizim haqidagi ma'lumotlar miqdorini aniqlash mumkin. Amalda ko'pincha X tizim kuzatish uchun mumkin bo'lmaydi va bu holda X tizim bilan bog'langan qandaydir Y tizimni kuzatish olib boriladi. Masalan, obyektning to'g'ridan-to'g'ri kuzatish o'rniga uning apparaturasi orqali uzatiladigan signallar tizimini kuzatish olib boriladi.

X va Y tizimlari orasida ikki turda bo'lishi mumkin bo'lgan farqlar mavjud:

– X tizimining ayrim holatlari Y tizimida o'z aksini topmasligi hisobiga (X tizimga qaraganda kamroq mufassal);

– X tizimining parametrlarini o'lchashning noaniqliklari va xabarlarni uzatishdagi xatoliklar hisobiga.

Agar Y tizim X tizimdan farq qilsa, savol tug'iladi: Y tizimni kuzatish X tizim haqidagi qancha ma'lumotlar miqdorini beradi? Bu ma'lumotni Y tizim haqidagi ma'lumotlarni olinishi natijasida X tizim entropiyasini kamayishi sifatida aniqlanadi:

$$L_{y \rightarrow x} = H(X) - H(X/Y)$$

bu yerda $H(X)$ – kuzatishgacha tekshirilmagan entropiya;

$H(X/Y)$ – ma'lumotlar olinganidan keyin qoldiq entropiya.

$L_{X \rightarrow Y}$ – Y tizimda bo'lgan X tizim haqidagi to'liq yoki o'rtacha ma'lumotlar.

Umumiy holda ikkita tizimlar bo'lganida ulardan har biri boshqa tizimga nisbatan o'sha bir to'liq ma'lumotlarga ega bo'ladi. Buni ko'rsatamiz:

$$H(X, Y) = H(X) + H(X/Y)$$

$$H(X, Y) = H(Y) + H(X/Y)$$

bu yerdan

$$H(X) + H(Y/X) = H(Y) + H(X/Y)$$

$$H(X) - H(Y/X) = H(Y) + H(Y/X)$$

$$L_{y \rightarrow x} = L_{x \rightarrow y} = L_{x \leftrightarrow y}$$

bu yerda $L_{X \leftrightarrow Y}$ – X va Y tizimlarda bo'lgan to'liq o'zaro ma'lumotlar deyiladi.

To'liq bog'liq bo'lmaganda va tizimlarning to'liq bog'liq bo'lgandagi chegaraviy hollardagi to'liq o'zaro ma'lumotlarni qarashini ko'rib chiqamiz. Agar X va Y tizimlar bog'liq bo'lmagan tizimlar bo'lsa, u holda $H(Y/X)=H(Y)$ bo'ladi. Bu holda Y xabar ega bo'ladigan butun ma'lumotlar X xabar ega bo'lgan ma'lumotlarga nisbatan yangi hisoblanadi.

Bu tushunarli, chunki uning o'rniga u bilan hech qanday bog'lanmagan boshqa tizimni kuzatish bilan tizim haqida ma'lumotlarni olish mumkin emas.

Boshqa chegaraviy hol X va Y tizimlar bir-birlarini to'liq aniqlaydi, ya'ni mos tushadi.

U holda: $H(X) = H(Y)$, $H(X/Y) = H(Y/X) = 0$

$$L_{x \leftrightarrow y} = L_x = L_y = H(X) = H(Y).$$

Nazorat savollari:

1. Xabarlar manbai uchun Shannon teoremasi?
2. O'zaro ma'lumotlar deganda nima tushunasiz?
3. Shartli va shartsiz o'zaro ma'lumotlar deganda nima tushunasiz?

2-bob. AXBOROTNI KODLASH, ARXIVLASH VA SIQISH

2.1. Axborotni kodlash usullari. Shennon – Fano, Xaffman teoremlari. Samarali kodlash usullaridan foydalanish

Axborot nazariyasi nuqtai nazaridan kodlash – bu xabar manbasi va shartli belgilar yigʻindisining alfavitlarini muayyan qoidalarga muvofiq aniq qiyoslash jarayoniga aytiladi. Kod esa (kodli alfavit) - bu dastlabki xabarni kodlashda ishlatiladigan turli shartli belgilarning toʻliq yigʻindisidir.

Kod hajmi yoki kod alfavit xajmi deb kod alfavitni tashkil etuvchi turli belgili kodlar soniga aytiladi. Koʻrinib turibdiki, kod alfavit hajmi yuboriladigan xabarning kodlangan alfavit xajmidan kichik boʻlishi mumkin emas. Shunday qilib, kodlash – bu aloqa kanali orqali uzatiladigan xabarni boshqa koʻrinishga oʻzgartirish yoki belgili kodlar ketma-ketligidir.

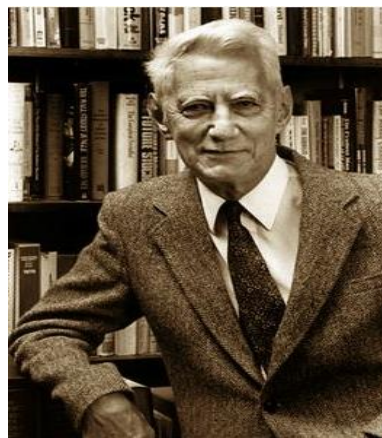
Kodlash, keltirilgan belgili kodlar turiga qarab raqamli va raqamsiz boʻlishi mumkin: mos ravishda bir qator tizimdagi raqamlar, baʼzi obyektlar yoki shakllar.

Koʻp hollarda, kodli belgilar baʼzi oddiy tashkil qiluvchilarning yigʻindisi yoki ketma-ketligini ifodalaydi, masalan, kodli belgilarning elementi deb aytiladigan sonli kodning kodli belgilardagi raqamlar ketma-ketligi. Kod soʻzidagi elementning tartib raqami yoki joylashgan joyi uning holatiga qarab belgilanadi.

Shennon - Fano kodi paydo boʻlguncha aloqa kanallari orqali uzatilayotgan axborotlardagi belgilar uzunligi bir xil boʻlgan bitlar yordamida kodlashtirilar edi. Shennon - Fano kodi paydo boʻlgandan soʻng uzatilayotgan axborotdagi har bir belgining paydo boʻlish ehtimoligiga qarab turib, uzunligi har xil boʻlgan bitlar yordamida kodlash imkoniyati paydo boʻldi. Axborotda biror bir belgining paydo boʻlish ehtimoligi kattaroq boʻlsa, ikkilik sanoq tizimidagi kodning uzunligi “kichikroq bit” boʻladi. Agar axborotda biror bir belgining paydo boʻlish ehtimoligi kichikroq boʻlsa, ikkilik sanoq tizimidagi kodning uzunligi “kattaroq bit” boʻladi.

Shannon Klod – amerikalik muhandis va matematik, zamonaviy ma'lumotlar va aloqa nazariyasini otasi. 1948 yil eng kichik axborot birligini “bit” so'zi bilan belgilashni taklif qilgan. Bundan tashqari Shannon teoremasida entropiya tushunchasi o'ziga xos xususiyatga ega edi.

R. Xartli va K. Shannon ishlarida ma'lumotlar nisbatlar, belgilar, xabarlar, bir-birlariga signallar – sintaksis nisbatlarda berilgan.



Klod Elvud Shannon
1916 - 2001

Robert Mario Fano 1917 yil 11 noyabrda Italiyaning Turin shaxrida tug'ilgan. Informatika sohasi bo'yicha italiya – amerika olimi, professor. U Klod Shennondan erkin holda axborotni siqish bo'yicha algoritmi erta boshlagan va yaratgan. Fano axborot nazariyasi sohasi bo'yicha mashhur. 2016 yil 13 iyulda AQShning Florida shtatida vafot etgan.



Robert Mario Fano
1917-2016

Qurish texnikasi bo'yicha Shannon va Fano kodlari bir-biriga yaqin bo'lganligi uchun Shannon - Fano kodi deyiladi. Ushbu kod 1948 yilda paydo bo'lgan. Ushbu algoritm yordamida axborotni kodlashtirish quyidagicha amalga oshiriladi:

- axborotdagi barcha belgilarning umumiy soni N hisoblanadi;
- N ta belgidan iborat bo'lgan axborotdan har bir belgining paydo bo'lish chastotasi yoki paydo bo'lish ehtimolligi hisoblanadi;
- har bir belgining paydo bo'lish chastotasi kamayib borish tartibida jadvalga joylashtiriladi;
- umumiy bo'lgan jadvaldagi yig'indi teng ikkiga bo'linadi va tepa qismiga “1”, pastki qismiga “0” qo'yiladi;
- teng ikkiga bo'lish kodlashtirilayotgan axborotdagi har bir belgiga bittadan “1” yoki “0” qolguncha davom ettiriladi.

1-misol: Quyidagi ko'rinishda axborot berilgan bo'lsin:

BBCBBBCDDEDAADDFGGHHEE.

Ushbu axborotda umumiy belgilar soni 24 ta. Dastlab ushbu axborot uchun entropiya ko'rsatkichining qiymatini hisoblaymiz:

$$H(x) = \sum P(x) * \text{Log}_2 P(x) = 2,89 \text{ bitga teng bo'ladi.}$$

Ushbu algoritm bo'yicha hisoblash natijalari jadvalda keltirilgan. Kodlashtirilgan axborotdagi xar bir belgiga mos kelgan kodli kombinatsiyaning o'rtacha uzunligi quyidagicha hisoblanadi:

$$n_{o'rtacha} = \sum n_i * P(x) = 2,96 \text{ bitga teng.}$$

2.1-jadvalda Shannon-Fano algoritmi bo'yicha hisoblash natijalari keltirilgan.

2.1-jadval

Shannon- Fano algoritmi bo'yicha hisoblash natijalari

Belgilar	Paydo bo'lish chastotasi	Yordamchi jadval				Kodi
B	5		5 (1)			11
D	5	(1)	5 (0)	5 (1)		101
A	3	5 (1)	3 (0)	3 (0)		100
		3 (1)				
E	3	3 (0)	3 (1)	3 (1)		011
C	2	2 (0)	2 (1)	2 (0)		010
F	2	2 (0)	2 (0)	2 (1)		001
G	2	2 (0)	2 (0)	2 (0)	2 (1)	0001
H	2	2 (0)	2 (0)	2 (0)	2 (0)	0000

Hozirgi kunda eng keng tarqalgan, amaliyotda ko'p ishlatiladigan entropiyali kodlash usuliga asoslangan algoritmlardan biri bu – Devid Xaffman algoritmi hisoblanadi.

Devid Xaffman 1925 yil 9 avgustda AQShning Ogayo shtatida tug'ulan. Devid Xaffman - axborot nazariyasi muhiti bo'yicha ish olib borgan. U 1952 yil kam ortiqchalik bilan prefikslarni kodlash algoritmini yaratgan. 1999 yil axborot nazariyasiga qo'shgan hissasi uchun Richard Xemming medalini olgan.

1999 yil 7 oktabrda AQShning Kaliforniya shtatida vafot etgan.



Devid Xaffman
1925 - 1999

Xaffman algoritmi asosida matnli axborotlar kodlashtiriladi. Ushbu algoritm yordamida axborotni kodlashtirish quyidagicha amalga oshiriladi:

- axborotdagi barcha belgilar soni, ya'ni N hisoblanadi;
- jami N ta belgidan iborat bo'lgan axborotdagi har bir belgining paydo bo'lish chastotasi hisoblanadi;
- har bir belgining paydo bo'lish chastotasi kamayib borish tartibida jadvalga joylashtiriladi;
- jadvaldagi oxirgi ikkita chastota yig'indisi hisoblanib, bitta umumiy bo'lgan yig'indi chastotaga birlashtiriladi;
- hisoblangan yangi yig'indi chastotadan va hisoblashda qatnashmagan boshqa chastotalardan jadvalning yangi ustuni hosil qilinadi (bunda ham chastotalar kamayib borish tartibida joylashtiriladi);
- shu tarzda to bitta umumiy N ga teng bo'lgan yig'indi hosil bo'lguncha jarayon davom etaveradi;
- jadval to'ldirilgandan so'ng, undagi hisoblashlarga muvofiq daraxt quriladi;
- daraxtning tepa qismida N joylashgan bo'ladi va uni teng ikkiga bo'lish kerak, hosil bo'lgan natijalarni yana teng ikkiga bo'lish lozim;
- shu tarzda axborotdagi har bir belgining paydo bo'lish chastotasi topilguncha bo'lish davom ettiriladi.

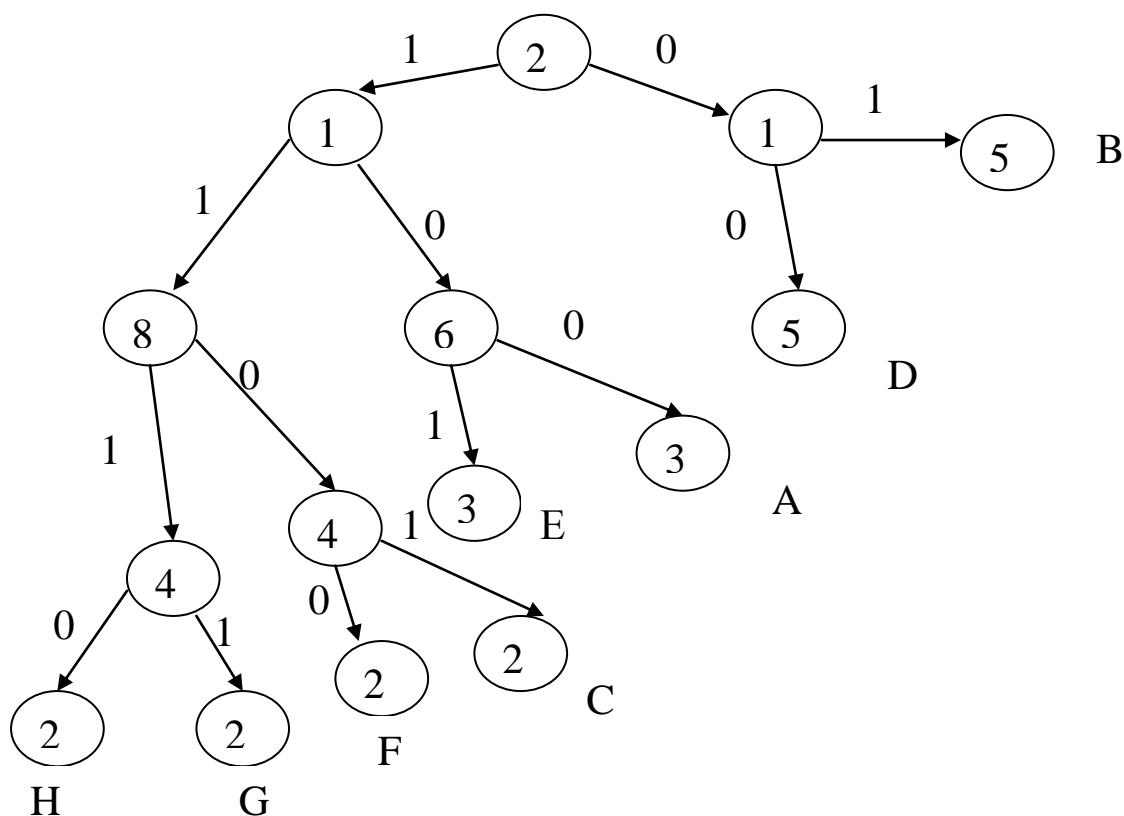
2-misol: Quyidagi ko'rinishda axborot berilgan bo'lsin: BBCBBBCDDEDAAADDFFGGHEE.

Xaffman algoritmi bo'yicha hisoblash natijalari 2.2-jadvalda keltirilgan.

2.2-jadval.

Xaffman algoritmi bo'yicha hisoblash natijalari

Belgilar	Paydo bo'lish chastotasi	Yordamchi jadval						
B	5	5	5	6	8	10	14	24
D	5	5	5	5	6	8	10	
A	3	4	4	5	5	6		
E	3	3	4	4	5			
C	2	3	3	4				
F	2	2	3					
G	2	2						
H	2							



Belgilar	B	D	A	E	C	F	G	H
kodi	01	00	100	101	1101	1100	1111	1110

Kodlashtirilgan axborotdagi har bir belgiga mos kelgan kodli kombinatsiyaning o‘rtacha uzunligini hisoblaymiz:

$$n_{o'rtacha} = \sum n_i * P(x) = 2,92 \text{ bitga teng.}$$

Yuqoridagi ko‘rib chiqilgan 1 va 2 misollarda kodlashtirilayotgan axborot qo‘yidagicha, ya’ni BBCBBBCDDEDAAADDFGGHHEE.

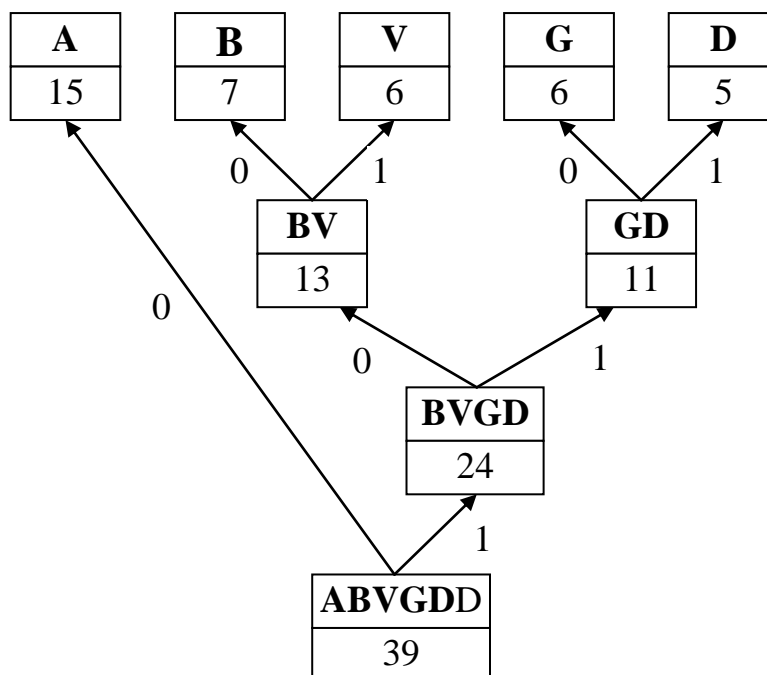
Biroq, hisoblash natijalariga ko‘ra, kodlashtirilgan axborotdagi har bir belgiga mos kelgan kodli kombinatsiyaning o‘rtacha uzunligi Shannon - Fano usuli uchun $n_{o'rtacha} = 2,96$ bitga, Xaffman usuli uchun esa $n_{o'rtacha} = 2,92$ bitga teng chiqdi.

Bundan xulosa qilinadiki, yuqoridagi axborotni Xaffan usuli bilan kodlashtirilsa maqsadga muvofiq bo‘ladi, chunki ushbu algoritmi bilan axborot kodlashtirilganda axborotdagi har bir belgiga mos keluvchi kodli kombinatsiyaning o‘rtacha uzunligi kichkina, ya’ni axborotni uzatish uchun kam bit sarflanadi. Bu esa o‘z navbatida axborotni uzatish tezligini oshirishga olib keladi.

3-misol: Quyidagi ko‘rinishda axborot berilgan bo‘lsin:

Simvol	A	B	V	G	D
Chastota	15	7	6	6	5

Bu misolni yechish uchun daraxtsimon usulni qurishdan foydalanamiz:



Bu berilgan usul uchun Xaffman kodi jadvali quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

Simvol	A	B	V	G	D
Kod	0	100	101	110	111

Teng ehtimolli bo‘lgan belgili xabarni samarali kodlash. Samarali kodlash shovqinsiz kanallarda va xalaqitlar yo‘q kanallarda yoki ulardan himoyalaniş mumkin bo‘lgan kanallarda ishlatiladi. Bunday kanallarda kodlashning asosiy vazifasi uzatish kanalining o‘tkazuvchanlik qobiliyatiga yaqin holda, xabarni maksimal tezlikda uzatishdir.

Agar, hamma kodlanayotgan xabarning alfavit belgilari mustaqil va ularning kelib chiqishi bir xil bo‘lsa samarali optimal kodni qurish qiyinchilik tug‘dirmaydi. Xaqiqatan, $H(x)$ ni olaylik – yuborilayotgan xabarning entropiyasi. Xabarning belgilari (x_i) teng ehtimolli va dastlabki xabar manbaining alfavit hajmi m ga teng deb faraz qilaylik. Binobarin,

har qanday i belgisini xabarda paydo bo‘lish ehtimoli ($P(x_i)$) bir xil bo‘ladi, ya’ni:

$$P(x_i) = \frac{1}{m}, \quad i=1, \dots, m,$$

Xabarning entropiyasi esa ($H(x)$) ga teng:

$$H(x) = -\sum_{i=1}^m P(x) \log_2 P(x) = \log_2 m$$

Agar kodlash uchun k (kodli belgilarning element alfavit xajmi k ga teng) asosi bo‘yicha sonli kod ishlatilayotgan bo‘lsa, u holda, kod belgi elementlari paydo bo‘lishi teng ehtimolli va o‘zaro mustaqil bo‘lganda kodli belgilar elementi entropiyasi (H_1), mos ravishda aniqlanadi:

$$H_1 = \log_2 k .$$

Unda, samarali yagona kod uzunligi, ya’ni, kodli belgidagi elementlar soni ($l_{samarali}$) quyidagicha topilishi mumkin:

$$l_{samarali} = \frac{H_x}{H_1} = \frac{\log_2 m}{\log_2 k} = \frac{\log_2 k^n}{\log_2 k},$$

bu yerda $m = k^n$.

Teng ehtimolli bo‘lmagan belgili xabarni samarali kodlash. Agar kodlanayotgan xabarning belgilari teng ehtimolli bo‘lmasa, umumiy ko‘rinishda optimal samarali kodni olish qoidasi noma’lum. Shu bilan birga, umumiy mulohazalardan uning qurilish prinsiplarini tasavvur qilish mumkin.

Ko‘rinib turibdiki, qachonki agar, aniq bir yo‘l yordamida xabar manbasining alfavit belgilari paydo bo‘lish ehtimolligining tengsiz taqsimlanishini kod belgisi elementlarining mustaqil paydo bo‘lish ehtimolligining teng ehtimolligiga o‘tkazilsa samarali kodlash optimal bo‘ladi.

Bunday holatda, bitta kod belgisi elementi boshiga to‘g‘ri keladigan o‘rta hisobdagi axborot maksimal bo‘ladi. Bu talabga javob bera oladigan kod turini aniqlash uchun, “qiymat funksiyasini” (xabar belgilarini uzatish narxi) quyidagicha ko‘rib chiqish mumkin:

$$Q = \sum_{i=1}^m P(x_i) \cdot W_i ,$$

bu yerda: $P(x_i)$ - i belgisini dastlabki kodlanayogan xabarda paydo bo'lish ehtimoli;

m – alfavit xajmi;

W_i – kod so'zning proporsional uzunlikdagi i belgini uzatish qiymati.

Samarali kod Q funksiyasini kamaytirishi kerak. Agar, kod belgisining barcha elementlarini uzatish qiymatlari bir xil bo'lsa, kod belgisining qiymati kod belgisiga mos holda proporsional uzunlikda bo'ladi. Shuning uchun, umumiy (dastlabki xabarning belgilari teng ehtimolli bo'lmasa) kod notekis bo'lishi kerak, shu sababli samarali kod qurilishi quyidagi prinsiplarga asoslanishi kerak:

– kod belgisining uzunligi (n_i) mos keladigan dastlabki kodlangan xabar belgisining paydo bo'lish ehtimoliga (x_i) teskari proporsional bo'lishi kerak;

– boshidagi uzun kod belgisi boshidagi kalta kod belgisi bilan mos kelmasligi kerak (ajratuvchi belgilarni ishlatmagan holda kod belgisini ajratish imkoniyati uchun);

– uzun ketma-ketlikdagi kod belgisi elementlari mustaqil va teng ehtimolli bo'lishi kerak.

Kanal bo'yicha uzatiladigan xabarni samarali kodlash imkoniyatini K. Shennon tomonidan isbotlangan. Shennonning birinchi teoremasi nomini olgan teorema yoki shovqinsiz kanallar uchun kodlash haqidagi Shennonning asosiy teoremasi ta'minlaydi. Bu teoremada, agar xabar manbasini entropiyasi bo'lsa H [bit/belgi], kanal o'tkazuvchanlik qobiliyatiga C [bit/sek] (o'tkazuvchanlik qobiliyati axborotni imkoni boricha maksimum tezlikda uzatishni xarakterlaydi) ega, demak har doim kanal bo'yicha o'rta tezlikda xabar belgilarini uzatishni ta'minlaydigan kodlash imkonini topish mumkin:

$$V_{o'rtacha} = \left(\frac{C}{H} - \varepsilon \right) \text{ [belgi/sek]},$$

bu yerda: ε – asossiz kichiq miqdor.

Teskari aytganda, xabar belgilarini kanal bo'yicha o'rta tezlikda $V_{o'rtacha} > H$ uzatish imkonsiz, sababi:

$$V_{\max} = \frac{C}{H} \text{ [belgi/sek]}.$$

Bu teorema ko'p hollarda boshqacha ko'rinishda keladi: xabarni har doim entropiyali xabarlar N manbaini alfavit xajmi k bilan kod belgisi elementlarining ketma-ketligida kodlash mumkin, shu sababli xabarning kodlanayotgan belgisi ($l_{o'rtacha}$) kod belgisining o'rtacha elementlar sonidan $H/\log_2 k$, qiymatiga asossiz tarzda yaqin bo'ladi, lekin undan kam emas.

Bu teoremani isbotini ko'rmasdan turiboq, teng ehtimolli va mustaqil kelib tushadigan kod belgisi elementlarini ta'minlaydigan eng yaxshi samarali kodlash ekanligini ko'rish mumkin va shu sababli har bir o'tkazilgan axborotning maksimal soni $\log_2 k$ (bit/element) ga teng. Afsuski, teorema aniq bir samarali kodlash usulini ko'rsatmayapti, u faqat har bir kod belgisi elementini tanlashda maksimum axborotni tashishi kerakligi aytilgan, sababi, barcha kod belgisi elementlari teng ehtimollik va mustaqil paydo bo'lishlari kerak.

Keltirilgan prinsiplardan kelib chiqqan holda xabarning mustaqil belgilari va o'zaro bog'liqligi uchun samarali kodlashning qator algoritmlari ishlab chiqilgan. Ularning mohiyati shundaki, tez-tez uchraydigan minimal uzunlikdagi dastlabki xabarning va kodning belgilarini belgilash orqali o'rtacha uzunlikdagi kod belgilarini qisqartiradi.

Samarali kodlash algoritmlarining kamchiliklari:

– tashqi shovqinlarga ta'sirchanligi – shovqin ta'sirida bitta elementda sodir bo'lgan xato bir kod kombinatsiyasini vaqt birligi bo'yicha boshqa qiymatga ega ikkinchisiga o'tib ketishiga sabab bo'lishi mumkin;

– bir kod simvoli boshqa vaqt birligidagi simvolga aylanishi mumkin, buning oqibatida joriy, keyingi simvollar noto'g'ri dekodlanadi va birlamchi ma'lumot boshqa ma'lumotga o'zgarib ketadi;

– keyingi kamchilik bu texnik jihatdan ularni yaratish murakkabligi hisoblanadi: qurilma bufer va simvollarini yig'ish uskunalari ega bo'lishi kerak. Chunki, aloqa kanallari bir xil uzunlikdagi kod kombinatsiyalarini uzatishda samarali ishlaydi, yuqoridagi algoritmlardagi kod kombinatsiyalarining uzunligi har xil, ularni yig'ib bir tugallangan ma'lumot shakliga keltirish uchun oldin qabul qilingan simvollarini saqlash kerak bo'ladi.

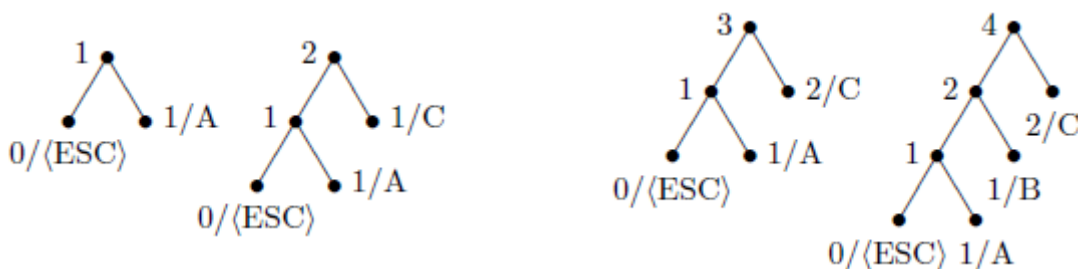
Amaliy, bir o'tishli, kodlar jadvallarini uzatilishini talab qilmaydigan algoritmlar hisoblanadi. Uning ma'nosi adaptiv algoritmdan foydalanishdan iborat, ya'ni simvolni kodga har bir taqqoslashda, bundan tashqari, hisoblashlarning ichki borishi shunday o'zgartiriladiki, keyingi marta bu simvolga boshqa kod taqqoslanishi mumkin, ya'ni algoritmni kodlash

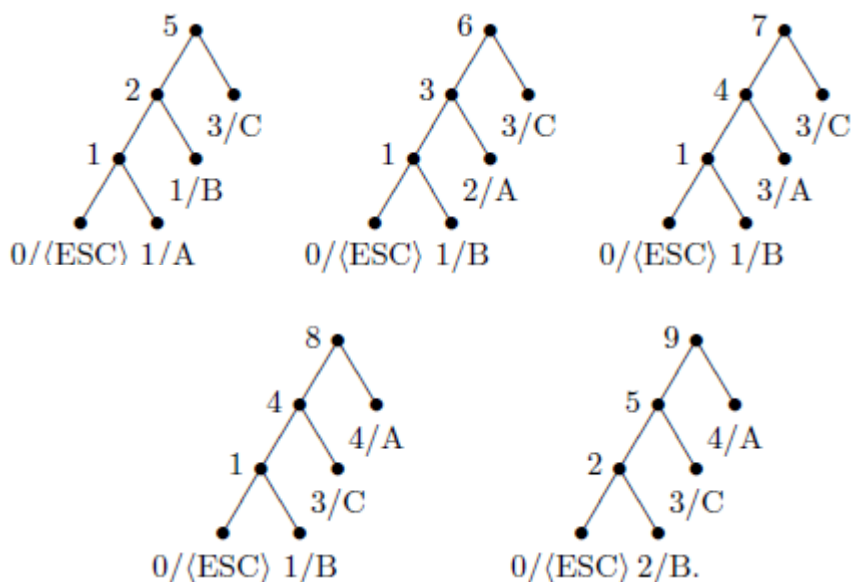
uchun keladigan simvollarga moslashishi bo‘lib o‘tadi. Dekodlashda esa o‘xshash jarayon bo‘lib o‘tadi.

Algoritm ishlashining boshlanishida kodlash daraxti doimo 0 chastotaga ega bo‘ladigan bitta maxsus simvolga ega bo‘ladi. U daraxtga yangi simvollarni kiritilishi uchun zarur bo‘ladi. Undan keyin simvolning kodi to‘g‘ridan to‘g‘ri uzatiladi. Bunday simvol escape-simvol (ESC) deyiladi. Kengaytirilgan ASCII har bir simvolni 8-bitli son, ya‘ni 0 dan 255 gacha son bilan kodlaydi. Kodlash daraxtini qurishda to‘g‘ri dekodlash uchun daraxtning tuzilmasini qandaydir tartiblashtirish zarur bo‘ladi. Daraxtning barglarini chastotalarning ortishi tartibida va keyin simvollarning standart kodlarning ortishi tartibida joylashtiramiz. Tugunlar chapdan o‘ngga tashlamasdan yig‘iladi. Chapdagi tarmoqlar 0 bilan, o‘ngdagi tarmoqlar 1 bilan belgilanadi.

Xaffman adaptiv bo‘lmagan kodini qurishga misolda X diskret tasodifiy qiymat (DTQ) 10-talik qiymatlarni tanlashga mos keladigan ACCBCAAABC xabar uchun Xaffman adaptiv algoritmi bo‘yicha kodlarni qurish jarayonini ko‘rib chiqamiz:

Kirish ma'lumotlari	Kod	Kod uzunligi	Daraxt №
A	'A'	8	1
S	0'S'	9	2
S	1	1	3
V	00'V'	10	4
S	1	1	5
A	001	3	6
A	01	2	7
A	01	2	8
V	001	3	9
S	01	2	





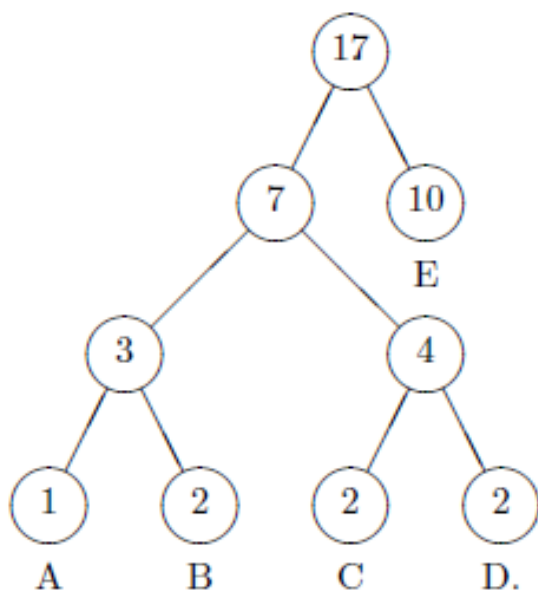
Bu yerda L_i (ACCBCAAABC) = 4.1 bit/simvol. Agar siqish ishlatilmasa, u holda \underline{L}_i (ACCBCAAABC) = 8 bit/simvol bo‘ladi. Ko‘rib chiqilayotgan DTQ uchun oldin $ML_i(X)$ = 1,6 bit/simvol va $HX \approx 1,523$ bit/simvol qiymatlar olingan edi. Lekin xabarning uzunligi ortishi bilan xabar simvoliga o‘rtacha bitlar soni adaptiv kodlash algoritmidan Xaffman yoki Shennon-Fano adaptiv bo‘lmagan usuli ishlatilganida olingan qiymatdan kam farqlanadi, chunki simvollar alifbosi cheklangan va har bir simvolning to‘liq kodini faqat bir marta uzatish kerak.

Endi 'A'0'C'100 'B'1001010100101 xabarni dekodlash jarayonini ko‘rib chiqamiz. Bu yerda va keyinchalik ajratish belgisidagi simvol ASCII+ jadvalidagi ikkilik son, simvollar raqami hisoblanadigan sakkizta bitni bildiradi. Dekodlashning boshlanishida Xaffman daraxti faqat 0 chastotali escape-simvolga ega bo‘ladi. Har bir yangi simvol koddan chiqarilishi bilan daraxt yana qayta sozlanadi.

Kirish ma'lumotlari	Kod	Daraxt №
'A'	A	1
0'S'	S	2
1	S	3
00'V'	V	4
1	S	5
001	A	6
01	A	7
01	A	8
001	V	9
01	S	

Algoritmning tanlangan moslashish usuli juda samarasiz, chunki har bir simvolga ishlov berilganidan keyin butun kodlash daraxtini qayta qurish kerak bo‘ladi. Butun daraxtni qayta qurish emas, balki faqat sezilarsiz o‘zgartirish kerak bo‘ladigan ancha kam mehnatli usullar mavjud.

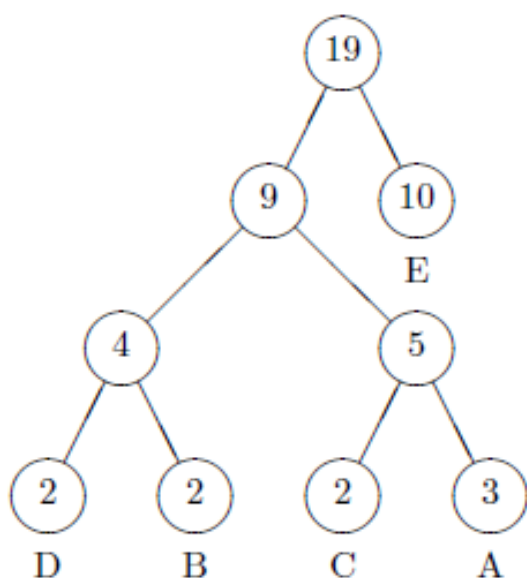
Binar daraxt, agar uning tugunlari vaznning kamaymasligi tartibida sanab o‘tilgan va bu ro‘yhatda umumiy ota-onaga ega bo‘lgan bitta qavatda yonma-yon turishi mumkin bo‘lsa, tartiblashgan hisoblanadi. Binobarin, sanab o‘tish qavatlar bo‘ylab pastdan-yuqoriga va chapdan-o‘ngga har bir qavatda borishi kerak. 2.1-rasmda tartiblashtirilgan Xaffman daraxtiga misol keltirilgan.



2.1-rasm. Tartiblashtirilgan Xaffman daraxtiga misol

Agar kodlash daraxti tartiblashtirilgan bo‘lsa, u holda mavjud tugunning vaznini o‘zgartirishda daraxtni butunlay qayta qurish kerak emas, unda faqat ikkita tugunlar – vaznli tartiblashtirishni buzgan tugun va undan keyin keladigan tugunlardan kam vaznli oxirgi tugun joylarini almashtirish yetarli bo‘ladi. Tugunlar joylari o‘zgartirilganidan keyin ularning barcha avlodlar-tugunlarining vaznlarini qayta hisoblash zarur bo‘ladi.

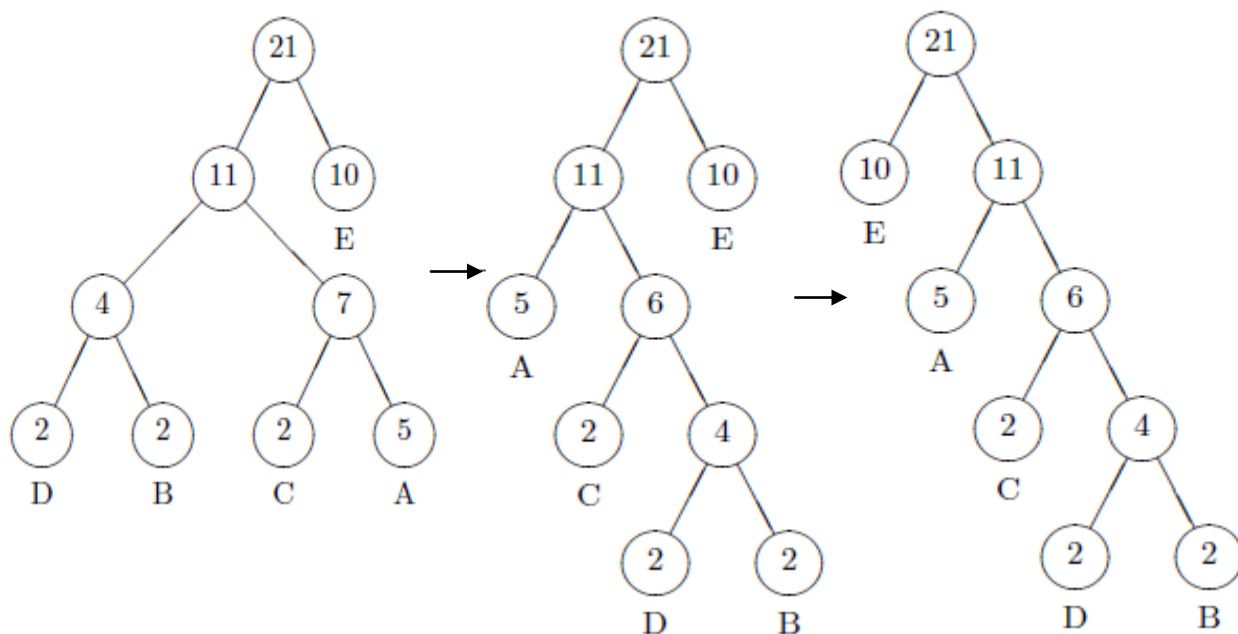
Masalan, agar 2.1-rasmdagi daraxtga yana ikkita A harflari qo‘shilsa, u holda A va D tugunlar joylarini almashtirish kerak bo‘ladi (2.2-rasmga qarang).



2.2-rasm. Tartiblashtirilgan Xaffman daraxtiga 2-chi misol

Agar yana ikkita A harflari qo‘shilsa, u holda dastlab A tugun va D hamda B tugunlar uchun ota-onalar, keyin esa E tugun va E aka-tugun (2.3-rasm) joylarini almashtirish zarur bo‘ladi.

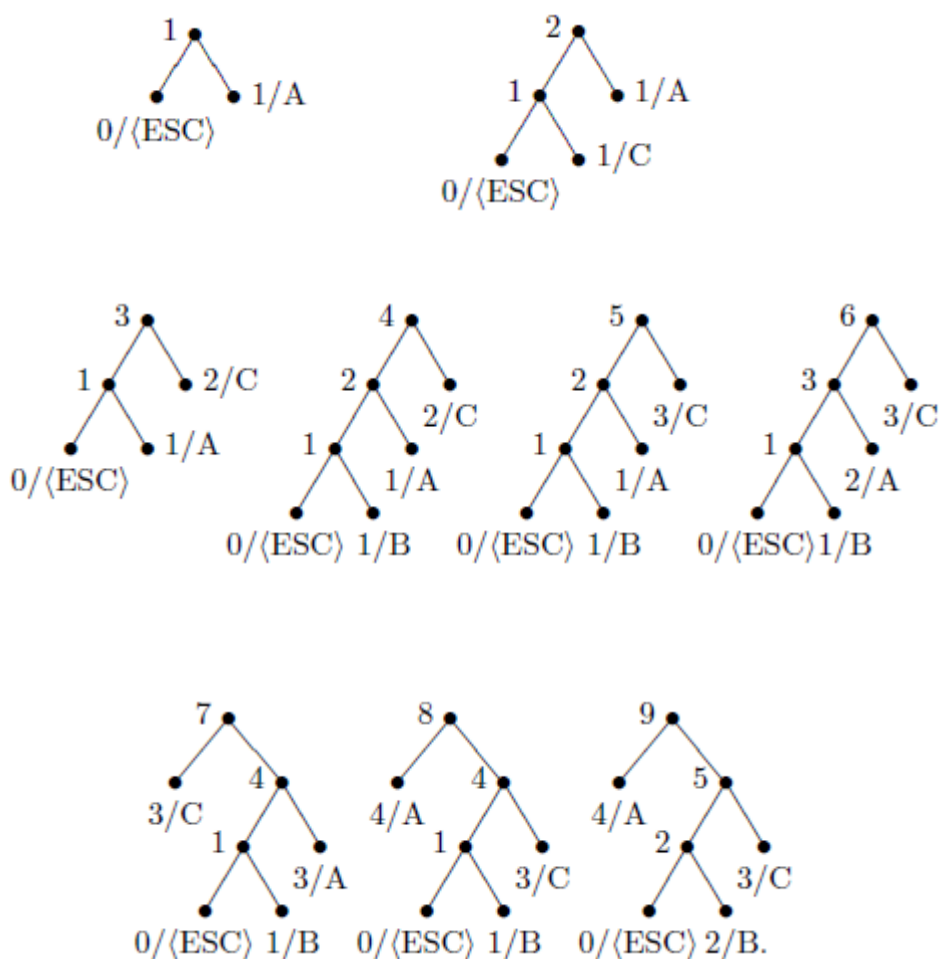
Daraxtni faqat unda yangi barg-tugun paydo bo‘lganida qayta sozlash kerak bo‘ladi. To‘liq qayta qurish o‘rniga (ESC) bargdan o‘ngda yangi barg qo‘shish va agar bunday tarzda olingan daraxt zarur bo‘lsa tartiblashtirish mumkin.



2.3-rasm. Tartiblashtirilgan Xaffman daraxtiga 3-chi misol

Tartiblashtirilgan daraxtli Xaffman adaptiv algoritmining ishlash jarayonini quyidagi sxema orqali tasvirlash mumkin:

Kirish ma'lumotlari	Kod	Kod uzunligi	Daraxt №	Qabul qilish usuli
A	'A'	8	1	Tugun qo'shish
S	0'S'	9	2	Tugun qo'shish
S	01	2	3	Tartibga solish
V	00'V'	10	4	Tugun qo'shish
S	1	1	5	O'zgarmaydi
A	01	2	6	O'zgarmaydi
A	01	2	7	Tartibga solish
A	11	2	8	Tartibga solish
V	101	3	9	O'zgarmaydi
S	11	2		



Bu yerda $L_1(\text{ACCBCAAABC}) = 4.1$ bit/simvol olinadi.

Nazorat savollari:

1. Kodlash deganda nima tushunasiz?
2. Shannon-Fano kodi yordamida axborotni kodlashtirish qanday amalga oshiriladi?
3. Xaffman algoritmi yordamida axborotni kodlashtirish qanday amalga oshiriladi?
4. Samarali kodlash nima?
5. Samarali kodlash algoritmlarining kamchiliklari nimalardan iborat?

2.2. Ma'lumot (matn, audio, video)larni siqish. Yo'qotishli va yo'qotishsiz siqish usullari

Zamonaviy telekommunikatsiya tarmoqlari orqali foydalanuvchilar o'zaro axborot almashinayotganda ma'lumotlar hajmi keskin ravishda oshib bormoqda, natijada, axborotni uzatadigan yuqori tezlikli kanallarga va katta hajmdagi axborotlarni saqlash imkoniyatini beradigan ma'lumotlar bazalariga ehtiyoj seziladi. Buning uchun axborot hajmini uning ma'nosini o'zgartirmasdan turib kamaytirish mexanizmlari kerak bo'ladi. Bunday mexanizmlardan biri axborotni kodlashtirishni samarali usullaridan, ya'ni axborotni arxivlash algoritmlaridan foydalanish hisoblanadi.

Telekommunikatsiya tarmoqlari orqali uzatilayotgan axborotdagi ortiqcha razryadlarni bartaraf qilish axborotni arxivlab beruvchi kodlarni asosiy maqsad va vazifasi hisoblanadi. Axborotni arxivlab beruvchi kodlardan foydalanilganda kanalning o'tkazish oralig'idan samarali foydalanish mumkin. Hozirgi kunda axborotni arxivlab beruvchi kodlarning yo'qotishsiz va yo'qotishli turlari mavjud.

Multimedia ko'rinishdagi axborotlarni arxivlab jo'natish uchun yo'qotishli algoritmlar ishlatiladi. Matn ko'rinishdagi axborotlarni arxivlab jo'natish uchun yo'qotishsiz arxivlash algoritmlari ishlatiladi

Axborotni kodlashtirishning samarali oddiy usullaridan RLE (Run Length Encoding) algoritmi juda mashhurdir. Ushbu yondashuvga asoslangan usullarning mohiyati zanjirlarni, takrorlanuvchi baytlar to'plamini yoxud ularning ketma-ketligini bitta kodlovchi baytga va ularning takrorlanish soni hisoblagichiga almashtirishdan iborat. Barcha bunga o'xshash usullarning muammosi usulni belgilashdan iboratdir,

uning yordamida ochuvchi algoritm yuzaga keladigan baytlar oqimida kodlangan to‘plamni boshqalardan – baytlarning kodlanmagan ketma-ketligidan farqlashi mumkin. Muammoning yechimi odatda kodlangan zanjirlarning boshida belgilar qo‘yish bilan erishiladi. Bunday belgilar, masalan, kodlangan to‘plamning birinchi baytidagi bitlarning xarakterli qiymatlari, kodlangan seriyaning birinchi bayt qiymati bo‘lishi mumkin. Ushbu usullar, odatda, rasmi grafik tasvirlarni (BMP, PCX, TIF, GIF) siqish uchun yetarli darajadagi samaradorlikka ega, chunki oxirgisi takrorlanuvchi baytlar ketma-ketligining yetarli darajadagi uzunlikdagi seriyalarini o‘z ichiga oladi. RLE usulining kamchiligi siqish darajasi yoki seriyalarning kam soni bilan va bundan yomon – seriyalarda takrorlanadigan baytlarning kam soni bilan fayllarni kodlash qiymatining yetarli darajada pastligidir.

Shuningdek, oddiy siqish usullariga farqli kodlash usuli ham kiradi, chunki sanash amplitudalarining farqi amplitudalarning o‘ziga qaraganda razryadlarning kichik soni bilan taqdim etiladi. Farqli kodlash delta-modulyatsiya usullarida va uning turli ko‘rinishlarida amalga oshirilgan.

Siqish algoritmining asosiy xarakteristikasi – siqish koeffitsienti hisoblanadi va u birlamchi siqilmagan ma’lumot hajmini ma’lum bir algoritm bo‘yicha siqilgan ma’lumot hajmiga nisbati bilan aniqlanadi, ya’ni:

$$k = \frac{S_{b.m.x}}{S_{s.m.x}}$$

bunda k — siqish koeffitsienti,
 $S_{b.m.x}$ — birlamchi ma’lumot hajmi,
 $S_{s.m.x}$ — siqilgan ma’lumot hajmi.

Siqish koeffitsienti qancha katta bo‘lsa, shuncha siqish algoritmi samarali bo‘ladi. Agar $k=1$ bo‘lsa algoritm birlamchi ma’lumot ustidan hech qanday siqish jarayonini amalga oshirmagan bo‘ladi. Amaliyotda $k<1$ holat ham bo‘lishi mumkin, bunda algoritm ma’lumotni siqish o‘rniga uning hajmini kengaytirib yuboradi.

Ma’lumot egallagan xotira hajmini kamaytirish maqsadida birlamchi ma’lumotni maxsus algoritmlar asosida o‘zgartirish (kompresiyalash) ma’lumotlarni siqish deyiladi.

Bunday algoritmlar xotira va ma’lumotlarni uzatish vositalaridan ratsional foydalanish maqsadlarida ishlatiladi.

Teskari, ya'ni birlamchi ma'lumotni tiklash jarayonlari siqilgan ma'lumotni dekompressiyalash deyiladi.

Ma'lumotni siqishda birinchi navbatda birlamchi matn to'g'risida ma'lumot yig'iladi, ya'ni undagi qaytariladigan fragmentlar, sonlar, iboralar aniqlanadi. Bunday ma'lumotga ega bo'lmay turib, ma'lumotni siqish to'g'risida hech qanday yechimga kelib bo'lmaydi.

Tizimga tushgan ma'lumotni oldindan tahlil qilish asosida siqishni bajaradigan usullar (algoritmlar) adaptiv usullar (algoritmlar) deb yuritiladi.

Adaptiv bo'lmagan algoritmlar statik algoritmlar deyiladi, ular tor doiradagi ma'lumotlarni, ya'ni ma'lum bir mutaxassislik to'g'risidagi ma'lumotlarni siqish uchun foydalaniladi. Amaliyotda asosan adaptiv algoritmlardan foydalaniladi.

Axborotni uzatish va saqlash katta xarajatlarni talab qiladi. Qancha katta axborot bilan ishlashimizga to'g'ri kelsa, bu shunchalik qimmatga tushadi.

Afsuski, aloqa kanallari orqali uzatilayotgan va saqlangan ma'lumotlarning katta qismi ixcham ko'rinishga ega emas. Aksincha, bu ma'lumotlardan oson foydalanishni ta'minlovchi ko'rinishlarda saqlanadi, misol uchun, oddiy kitob matnlari, matn muxarrirlarining ASCII kodlari, personal kompyuterlar (PK) ma'lumotlarining ikkilik kodlari, ma'lumotlarni yig'ish tizimlaridagi signallarning alohida sonlari va boshqalar.

Biroq bu foydalanishda eng oddiy bo'lgan ko'rinishdagi ma'lumotlarni saqlash, aslida keragidan ikki-uch, lekin ba'zida yuzlab barobar katta joyni va chastota kengligini talab qiladi. Shuning uchun ma'lumotlarni siqish zamonaviy telekommunikatsiyalarning eng muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

Ma'lumotlarni siqishning maqsadi - manba tomonidan ishlab chiqarilgan ma'lumotlarni ixcham ko'rinishini, ularning tejamkorroq saqlanishi va aloqa kanali orqali yuborilishini ta'minlashdan iborat. 2.3, 2.4 va 2.5-jadvallarda matn, ovoz va videoni siqish usullari keltirilgan.

2.3-jadval

Matnni siqish usullari

Siqish usullari	Sharxlari
Shennon – Fano kodlash usuli	Yuqori ishonchli simvollar qisqa kodli soʻzlar bilan almashtiriladi
Xaffman kodlash usuli	Yuqori ishonchli simvollar qisqa kodli soʻzlar bilan almashtiriladi
LZW usuli	Yagona kodli belgilar satriga almashtiriladi. Matn taxlil qilinmaydi. Uning oʻrniga har bir yangi simvollar satri jadval satriga qoʻshiladi
Unix – siqish usuli	Oʻsib borayotgan lugʻatdagi LZW kodlar ishlatiladi. Boshlangʻich lugʻat 512 ta elementni oʻz ichiga oladi

2.4-jadval

Ovozni siqish usullari

Ovoz kodeklari	Foydalanish	Tezlik (Kbit/s)
Kod – impulsli modulyatsiya (G.711)	Tor polosali nutq (300...3300 Gs)	64
GSM	Tor polosali nutq (300...3300 Gs)	13
CS-ACELP (G.729)	>>	8
G.723.3	>>	6,4 va 5,3
Adaptiv differensial impuls – kodli modulyatsiya (G.726)	>>	32
SBC	Keng polosali nutq (50...7000 Gs)	48/56/64
MPEG layer III (MP3)	CD sifatdagi keng polosali ovoz (10...22 KGs)	128...112

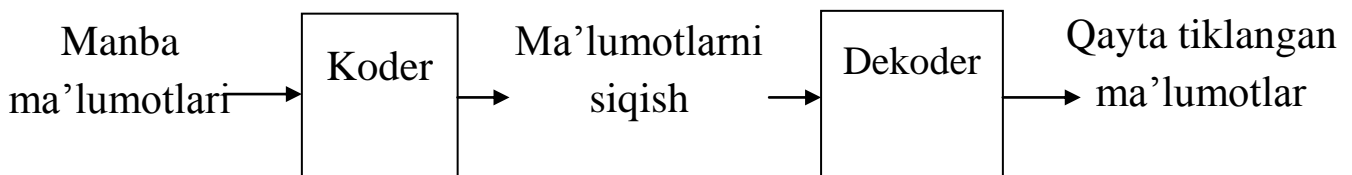
2.5-jadval

Videoni siqish usullari

Siqish sxemasi	Sharxlar
MPEG-1	CD-ROM ga yozishda VSR NTSC (352 x 240) formatda siqish uchun ishlatiladi va uzatish tezligi 1,2 Mbit/s

MPEG-II	Audio va videoni kodlash uchun umumiy standart. Uzatish rejimida xatoliklardan himoya qilishni ta'minlaydi. DVB uzatish va High Definion television (HDTV) sifatiga teng miqdorda siqishni ta'minlaydi. MPEG-2 to'rt variantdagi o'lchamni qo'llab quvvatlaydi: kichik (low) (352x240), asosiy (main) (720x480), yuqori-1440 (high-1440) (1440x1152) va yuqori (high) (192x1080). Ma'lumot uzatish tezligi 3...100 Mbit/s ga teng
MPEG-IV	Kam o'tkazuvchan sig'imli tarmoq (64 Kbit/s) uchun siqishni qo'llab quvvatlaydi. Bu barcha multimedia komponentlarida yagona yaxshi siqiluvchi format
N.261	Bir necha 64 Kbit/s tezlikdagi ISDN bo'yicha videotasvirni uzatishni ta'minlaydi. Sxema ramka ichida va ular orasidagi o'xshash siqishga asoslangan
N.263	Sxema juda kichik o'tkazish qobiliyatiga ega bo'lgan simsiz tarmoq bo'ylab video tasvirlarni uzatishga mo'ljallangan

Quyidagi 2.4-rasmda ma'lumotlarni siqish tizimining shartli strukturasi keltirilgan:



2.4-rasm. Ma'lumotlarni siqish tizimining shartli strukturasi

Ma'lumotlarni siqish tizimi koder va dekoder manbalaridan iborat. Koder manba ma'lumotlarini siqilgan ma'lumotlarga aylantirib beradi, dekoder esa siqilgan ma'lumotlardan manba ma'lumotlariga qayta tiklash uchun mo'ljallangan. Dekoderdan chiqqan qayta tiklangan ma'lumotlar manba ma'lumotlari bilan aniq mos kelishi yoki ozgina farq qilishi mumkin.

Ma'lumot siqish usullari ko'p, lekin ular barcha ma'lumotlar ortiqchaligini kamaytirish uchun uchta nazariy usullarga asoslangan:

- ma'lumotlarning tuzilishini o'zgartirish;

- ma'lumotlarni mazmunini o'zgartirish;
- bir vaqtning o'zida ham tuzilishini ham mazmunini o'zgartirish.

Ikki turdagi ma'lumotlarni siqish tizimlari mavjud:

- axborotni yo'qotishsiz siqish tizimlari (siqishni buzmaydiganlar);
- axborotni yo'qotishlar bilan siqish tizimlari (siqishni buzadiganlar).

Yo'qotishsiz siqish usulida siqish algoritmi bilan kodlashtirilgan ma'lumot (raqamli holatga keltirilgan video, audio, grafik hujjatli ma'lumotlar) oxirgi bit aniqligida dekodlashtiriladi. Bu usulda har bir turdagi raqamli axborot uchun optimal yo'qotishsiz siqish algoritmi qo'llaniladi.

Usul juda ko'p ilovalarni siqishda va fayl arxivatorlarida ishlatiladi, hamda yo'qotishli siqish algoritmlarida asosiy komponent sifatida ham qo'llaniladi. Bu usul siqilgan ma'lumot asl nusxa bilan bir xil bo'lishi muhim bo'lgan hollarda qo'llaniladi, masalan bajariladigan fayl va uning kodlashtirilgan ko'rinishi.

Umumiy ko'rinishda yo'qotishsiz siqish usuli quyidagicha izohlanadi:

Berilgan birlamchi ma'lumotda iboralar ishlatilishining qonuniyati aniqlanadi va unga asosan birlamchi ketma-ketlikni to'liq tavsiflaydigan ikkinchi ketma - ketlik generatsiya qilinadi. Masalan, "0" iboralari ko'p va "1" iboralari kam ikkilik ketma-ketlikni kodlashtirishda quyidagi almashtirishlarni qo'llash mumkin:

$$\begin{aligned} 00 &\rightarrow 0 \\ 01 &\rightarrow 10 \\ 10 &\rightarrow 110 \\ 11 &\rightarrow 111 \end{aligned}$$

Bunda 16 bitli ushbu 00 01 00 00 11 10 00 00 ko'rinishdagi axborot 13 bitli axborotga almashtiriladi 0 10 0 0 111 110 0 0.

Bunday o'zgartirish quyidagi xususiyatga ega: siqilgan qatorni oraliqsiz yozib chiqilgan taqdirda ham unga oraliqlar qo'yib, birlamchi ma'lumotni tiklash mumkin bo'ladi. Bunday usulda yaratilgan kod prefiksli kod deb yuritiladi. Bunday kodlashtirishga Xaffman kodini misol qilib keltirish mumkin.

Ko'pchilik yo'qotishsiz siqish algoritmlari ikki bosqichda ishlaydi:

– birinchi bosqichda birlamchi ma'lumotning statistik modeli generatsiya qilinadi, ko'p uchraydigan elementlari va ularning ehtimollari aniqlanadi;

– ikkinchi bosqichda statistik modelning "bit"dagi (ya'ni, ikkilik sistemadagi) ko'rinishi yaratiladi.

Tekst ma'lumotlari uchun statistik model algoritmi quyidagilardan tarkib topadi:

1. Barrouz-Uiler usuli bo'yicha statistik model yaratish, ya'ni bloklarga ajratish yo'li bilan ajratish - siqish jarayonlarining samarasini oshiradi. Bunda ishlatiladigan algoritmlar quyidagicha nomlanadi: LZ77 va LZ78 (DEFLATE), LZW.

2. Bitlar ketma-ketligini generatsiya qilish orqali kodlashtirish algoritmlari sifatida Xaffman va arifmetik kodlashtirish usullari qo'llaniladi.

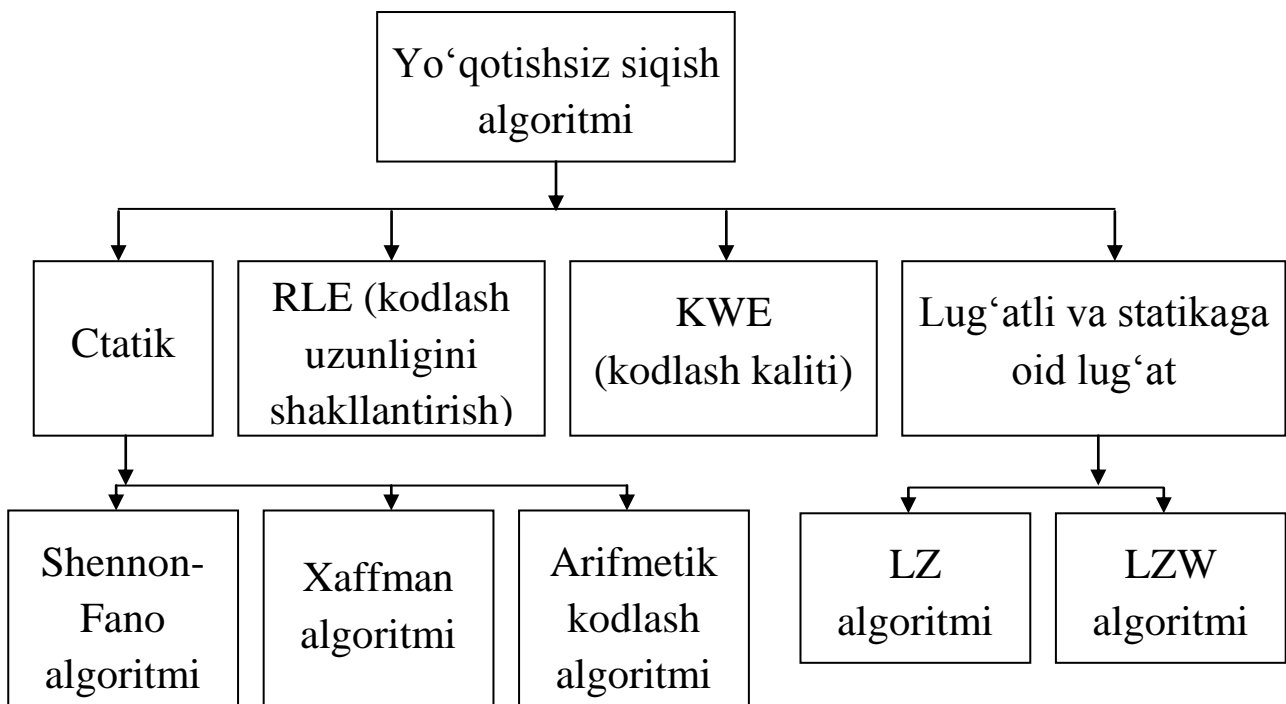
Odatda ma'lumotlarni siqishning samaradorligi jihatidan yuqori bo'lgan axborotni yo'qotishsiz siqish usullarining ko'plab turli usullari mavjud. Biroq, bu usullar uch nazariy algoritmlarga asoslangan:

– RLE (Run Length Encoding- kodlash uzunligini shakllantirish) algoritmi;

– KWE (Key Word Encoding- kodlash kaliti guruhlar) algoritmlari;

– Xaffman algoritmi.

Quyidagi 2.5-rasmda yo'qotishsiz siqish algoritmi keltirilgan.



2.5-rasm. Yo'qotishsiz siqish algoritmi

Yo‘qotishli siqish. Ma’lum bir usulda siqilgan (kompresiyalangan) ma’lumot dekompressiyalanganida birlamchi ma’lumotdan ma’lum bir darajada farqlanadi, ya’ni dekompressiyalangan ma’lumotdan keyinchalik foydalanish mumkin. Bu turdagi siqish algoritmlari audio, video ma’lumotlarni, statik tasvirlarni, internet ma’lumotlarini, ma’lumot oqimlarini uzatishda va raqamli telefoniyada qo‘llaniladi.

Yo‘qotishli siqishning ikki xil sxemasi mavjud:

– transformatsiya qiladigan kodeklarda tasvir yoki tovush freymlari yangi bir muhitga transformatsiyalanadi va kvantlash operatsiyasi bajariladi. Transformatsiyalash jarayoni butun freym doirasida amalga oshirilishi mumkin (wavelet - algoritmi asosida transformatsiyalash);

– freymni bloklarga bo‘lib, bloklar doirasida transformatsiyalash (JPEG – algoritmi bo‘yicha). Transformatsiyalangan ma’lumot entropiya usullari negizida siqiladi.

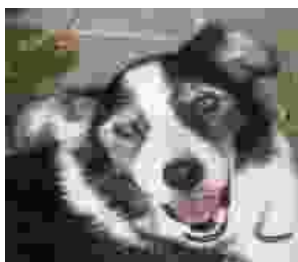
Yo‘qotishli siqish algoritmlarining kamchiliklari. Yo‘qotishli siqish algoritmi asosidagi dekompressiyalangan ma’lumot ikkinchi marta siqilganida sifat darajasi pasayishi mumkin, shuning uchun bunday holatlarda birlamchi ma’lumotning asl nusxasini saqlab qo‘yish kerak. 2.6-rasmda yo‘qotishli siqish algoritmi asosida sifat darajasi pasayishi keltirilgan.



Kam siqilgan axborot: 84% siqilgan



O‘rtacha siqilgan axborot: 92% siqilgan



Yuqori siqilgan axborot: 98% siqilgan

2.6-rasm. Yo‘qotishli siqish algoritmi asosida sifat darajasining pasayishi

Yo‘qotishli va yo‘qotishsiz siqish algoritmlarining tahlili. Yo‘qotishli siqish algoritmlarining yo‘qotishsiz siqish algoritmlaridan afzalligi shundan iboratki, bunda qo‘yilgan talablarga javob bergan holda ma‘lumotni siqish darajasi ancha yuqori, ya‘ni dekompressiyalangan ma‘lumot inson sezgirlik darajasida bo‘ladi.

Yo‘qotishli siqish algoritmlari ko‘pincha analog ma‘lumotlarni siqishda qo‘llaniladi, ya‘ni tovush va tasvir ma‘lumotlarini. Bunda dekompressiyalangan ma‘lumot birlamchi ma‘lumotdan bitga bit solishtirilganida ancha farq qilishi mumkin, ammo bunday o‘zgarishlar inson eshitish va ko‘rish organlarida deyarli sezilmaydi.

Siqish koeffitsienti o‘zgaras va o‘zgaruvchan bo‘lishi mumkin:

- ma‘lumotni siqish darajasi o‘rtacha (ma‘lum bir test ma‘lumotlari orqali aniqlanadi);
- ma‘lumotni siqish darajasi maksimal (eng yaxshi natija);
- ma‘lumotni siqish darajasi minimal (eng yomon holat).

Yo‘qotishli siqish algoritmlarida *K*ning qiymati yo‘l qo‘yilishi mumkin bo‘lgan xato darajasiga bog‘liq bo‘ladi, shu orqali uning sifati belgilanadi.

Nazorat savollari:

1. Ma‘lumotlarni siqishdan maqsad nima?
2. Ovoz , video va ma‘lumotni siqishga tushuncha bering?
3. Qanday siqish usullarini bilasiz?
4. Yo‘qotishsiz va yo‘qotishli siqish usullariga tushuncha bering?
5. Yo‘qotishsiz va yo‘qotishli siqish usullari kamchiliklari nimalardan iborat?

2.3. Zamonaviy modemlarda siqish algoritmlari

Siqishning lug‘atli usullari. Siqishning lug‘atli usullari kiritish belgilar ketma-ketligini tasodifiy raqamni o‘z ichiga olgan qatorlar ketma-ketligi kabi ko‘rishga asoslangan. Bu belgilar qatorini qaysidir lug‘atdagi qator indeksiga mos keluvchi kodlar bilan almashtirish mumkin. Lug‘at tashkil etuvchi qatorlarni iboralar deb ataymiz. Qayta tiklash indeks lug‘atdagi mos ibora bilan almashinuvi orqali amalga oshiriladi.

Bu holda, lug‘at shunday qayta ishlanadigan xabarda uchrashi mumkin bo‘lgan ibora majmualaridan iborat bo‘ladi. Lug‘atning ibora

indekslari shunday tuzilishi kerakki, undagi belgilar o'rtacha soni lug'atning iboralaridagi belgilar sonidan kamroq bo'lishi lozim. Aynan shu asl nusxa xabarni siqishni amalga oshiradi.

Axborotni lug'atli Lempel-Ziv arxivlash usullarini ko'rib chiqamiz. Ushbu usullarning asosida statik arxivlash g'oyasidan ham yaxshiroq g'oya yotadi.

Lug'atli kodlovchi ketma-ketlikdagi belgilar (jumlar) guruhini ayrim lug'atlar bilan almashtirib kodlashga erishadi. Lug'at bu tez-tez foydalanilishi kutilayotgan jumalarning ro'yhatidir. Indekslar shunday qurilganki, bunda o'rtacha hisobda ular tomonidan kodlanadigan jumalarga nisbatan kamroq joy egallaydi, buning hisobiga arxivlashga (siqishga) erishiladi. Shuningdek siqishning ushbu turi «makro» - kodlash yoki «kodlar kitobi» usuli singari mashhurdir. Lug'atli usullar odatda tezkordir, ya'ni, bunda chiqishdagi bitta kod bir nechta kirish belgilariga mos keladi va kod o'lchami odatda mashina so'zlariga mos keladi. Lug'atli modellar kontekstli-cheklangan modellar singari yaxshi bo'lmasada, yetarlicha yaxshi darajadagi siqishni beradi. Lug'atli kodlovchilarning ko'pchiligi kontekstli-cheklangan modellar yordamida yozib olinishi mumkinligini ko'rsatish mumkin, shuning uchun ularning asosiy afzalligi siqish sifati emas, aksincha mashina resurslarini tejash hisoblanadi.

Lug'at sxemasini loyihalashdagi markaziy qaror kodli lug'atning yozib olish hajmini tanlash hisoblanadi. Ayrim ishlab chiquvchilar saqlanadigan jumalarning uzunligiga cheklashlar qo'yadilar. Ushbu cheklashga nisbatan jumalarning tanlanishi statik, yarim adaptiv yoki adaptiv usulda amalga oshirilishi mumkin. Oddiy lug'atli sxemalar qisqa jumalarni o'z ichiga oluvchi statik lug'atlardan foydalanadi. Ular asosan fayl yozuvlarini siqish uchun yaroqlidir, masalan, bibliografik ma'lumotlar bazasi, bunda yozuvlar tasodifiy shaklda dekodlanishi kerak, biroq bunda aynan bitta jumla turli yozuvlarda tez-tez paydo bo'ladi. Biroq, katta jumalarga yo'l qo'yuvchi adaptiv sxemalar yaxshiroq siqishlarga erishadi. Quyida ko'rib chiqiladigan Ziv-Lempel siqishida ushbu tavsifga mos keluvchi, hamda boshqa lug'atli sxemalarni ortda qoldiruvchi siqish usullarining umumiy sinfi mavjud.

Amaliy jihatdan deyarli barcha lug'atli kodlovchilar Ziv va Lempel ishidan kelib chiquvchi algoritmlar turkumiga taalluqlidir. Mohiyat shundan iboratki, jumlar ko'rsatkich tomonidan ular avval matnda paydo bo'lgan joylarga almashtiriladi. Algoritmlarning ushbu turkumi Ziv-Lempel usuli deb nomlanadi, hamda LZ-siqish singari belgilanadi. Ushbu

usul tezkorlik bilan matn strukturasi moslashadi, hamda qisqa funksional soʻzlarni kodlashi mumkin, chunki ular u yerda haddan ziyod koʻp marotaba paydo boʻladi. Shuningdek yangi soʻzlar va jumlar avval uchragan soʻzlarning qismidan shakllanishi mumkin. Siqilgan matnning kodini ochilishi toʻgʻridan-toʻgʻri amalga oshiriladi – koʻrsatkichni lugʻatdagi u koʻrsatayotgan tayyor jumla bilan oddiy almashtirish amalga oshiriladi. LZ-usuli amaliyotida yaxshiroq siqishga harakat qiladi, uning muhim hususiyati kodni ochuvchining oʻta tezkor harakati hisoblanadi. Bunday koʻrsatkich shakllaridan bittasi bu $(m,1)$ juftligidir, bu kiruvchi oqimda m ni almashtirishdan boshlanuvchi 1 belgilaridan iborat jumlaning almashtiradi. Masalan, koʻrsatkich $(7,2)$ dastlabki satrning 7- va 8- belgilarni adreslaydi. Ushbu belgidan foydalangan holda, «abbaabbbabab» satri «abba (1,3) (3,2) (8,3)» singari kodlanishi kerak. LZ-usuli tushunchasi ostida yagona algoritm turganligi toʻgʻrisidagi notoʻgʻri tushuncha tarqalgan. Birinchi navbatda bu ikkita har xil siqish algoritmlariga olib kelgan «murakkablik» satrini oʻlchash uchun variant edi. Ushbu izoh LZ-siqish oʻzi aslida nima ekanligi toʻgʻrisidagi nomaʼlum tushunchani hosil qiluvchi koʻp yangiliklarni oʻz ichiga oladi. Ushbu usulning variantlarini koʻpligi tufayli uning oʻsib boruvchi turkumi orqali eng yaxshi tavsiflarni amalga oshirish mumkin, bunda har bir aʼzo oʻz ishlab chiquvchilik qarorini aks ettiradi. Ushbu versiyalar ikkita bosh omillarda bir-biridan farq qiladi: koʻrsatkichning orqaga harakatining chegarasi bormi va ushbu koʻplikdan u qanday satr ostiga havola qilishi mumkin. Koʻrsatkichning avval koʻrib chiqilgan matn qismiga siljishi cheklanmagan boʻlishi mumkin (kengayuvchi oyna) yoki belgidan avval keluvchi N dan iborat boʻlgan doimiy oʻlchamdagi oyna bilan cheklangan boʻlishi mumkin, bunda odatda N bir necha mingni tashkil etadi. Shuningdek tanlangan satrlar osti cheklanmagan yoki baʼzi bir fikrga muvofiq tanlangan koʻplikdagi jumlar bilan cheklangan boʻlishi mumkin. Ushbu shartlarning har bir kombinatsiyasi bajarish tezligi, talab etiladigan operativ xotira hajmi va siqish sifati oʻrtasidagi kompromiss boʻlib hisoblanadi. Kengayuvchi oyna satrlar ostining katta miqdoridan foydalanishni tashkil etish hisobiga eng yaxshi siqishni taklif etadi. Lekin oynaning kattaligiga koʻra tegishli satrlar ostini qidirish vaqtining oʻsishi tufayli kodlovchi oʻz ishini sekinlashtirishi mumkin, siqish esa koʻrsatkichlar oʻlchamining kattalashishi tufayli yomonlashishi mumkin. Agar oyna uchun xotira yetishmasa, jarayon tashlab yuboriladi, shu bilan birga oynaning yangitdan kattalashish davriga qadar siqishni yomonlashtiradi. Doimiy oʻlchamdagi oyna ushbu muammolardan xolis,

biroq ko‘rsatkich foydalanishi mumkin bo‘lgan kamroq satr ostini o‘z ichiga oladi. Foydalanish mumkin bo‘lgan ko‘plikdagi satrlar ostining qayd etilgan oyna o‘lchami bilan cheklanishi ko‘rsatkichlarning o‘lchamini kichraytiradi va kodlashni tezlashtiradi. LZ-usullarining asosiy variantlari va ularning farqlari 2.6 -jadvalda keltirilgan.

2.6- jadval

LZ-usullarining asosiy turlari va ularning farqlari

Nomi	Mualliflari	Farqi
LZ77	Ziv and Lempel [1977]	Ko‘rsatkichlar va belgilar almashlab turiladi. Ko‘rsatkichlar satr ostini avvalgi N belgilari orasida adreslaydi.
LZ78	Ziv and Lempel [1978]	Ko‘rsatkichlar va belgilar almashlab turiladi. Ko‘rsatkichlar avval ko‘rib chiqilgan satr ostini adreslaydi.
LZR	Roden [1981]	Ko‘rsatkichlar va belgilar almashlab turiladi. Ko‘rsatkichlar satr ostini avvalgi barcha belgilar orasida adreslaydi.
LZSS	Roden [1981]	Ko‘rsatkichlar va belgilar almashlab turiladi. Ko‘rsatkichlar satr ostini avvalgi barcha belgilar orasida adreslaydi.
LZW	Welch [1984]	Xulosa faqat ko‘rsatkichlarni o‘z ichiga oladi. Ko‘rsatkichlar avval ko‘rib chiqilgan satr ostini adreslaydi. Ko‘rsatkichlar qayd etilgan uzunlikka ega.
LZW W	Miller and Wegman [1984]	LZTga o‘hshash, lekin jumlar avvalgi ikkita jumalarning konkatenatsiyasidan quriladi.
LZC	Thomas [1985]	Hulosa faqat ko‘rsatkichlarni o‘z ichiga oladi. Ko‘rsatkichlar avval ko‘rib chiqilgan satr ostini adreslaydi.
LZJ	Jakobsson [1985]	Xulosa faqat ko‘rsatkichlarni o‘z ichiga oladi. Ko‘rsatkichlar satr ostini avvalgi barcha belgilar orasida adreslaydi.
LZB	Bell [1987]	LZSS ga o‘hshash, lekin ko‘rsatkichlar uchun turli kodlash qo‘llaniladi.

LZH	Brent [1987]	LZSS ga o'xshash, lekin ikkinchi qadamda ko'rsatkichlar uchun Xaffman kodlashi qo'llaniladi.
LZT	Tischer [1987]	LZC ga o'xshash, lekin jumlar LRU-ro'yhatga joylashtiriladi.
LZFG	Fiala and Greene [1989]	Ko'rsatkich tugunni raqamli qidirish daraxtidan tanlaydi. Daraxtdagi satrlar sirpanuvchi oynadan olinadi.

Ularning barchasi Ziv va Lempel tavsiflagan hamda LZ77 va LZ78 singari muvofiq ravishda belgilangan ikkita turli yondoshuvlarning bittasidan kelib chiqqan. Ba'zi mualliflar ularning bir hilligi to'g'risidagi yanglish fikrlarini bildirsalar ham ushbu ikkita yondoshuv mutlaqo bir biridan farq qiladi. «LZ-sxemalar» atamasi ularning kashfiyotchilari nomidan kelib chiqadi. Odatda har bir keyingi ko'rib chiqiladigan variant aslida bundan avvalgisining takomillashtirilgani bo'lib hisoblanadi.

LZ77 - bu birinchi nashr qilingan LZ-usuli edi. Unda ko'rsatkichlar kod pozitsiyasidan avvalgi doimiy o'lchamdagi oynadagi jummalarni ifodalaydi. Ko'rsatkichlar tomonidan almashtiriladigan satr ostining maksimal uzunligi F parametri bilan belgilanadi (odatda 10-20). Ushbu cheklashlar LZ77 ga N belgilardan iborat «sirpanuvchi oyna»dan foydalanish imkonini beradi. Ulardan birinchi $N-F$ kodlangan bo'lib, oxirgi F esa oldinga o'tuvchi buferni tashkil etadi. Belgini kodlashda oynaning birinchi $N-F$ belgilarida ushbu bufer bilan mos keluvchi eng uzun satr qidiriladi. U buferni qisman to'sib qo'yishi mumkin, lekin buferning o'zi bo'la olmaydi. Topilgan eng ko'p muvofiqlikdan so'ng triada bilan kodlanadi, bunda i bufer boshidan uning siljishi, j – muvofiqlik uzunligi, birinchi belgi esa, satr ostiga mos kelmaydigan oyna. So'ngra oyna o'ngga, algoritmnining yangi qadamiga tayyor $j+1$ belgiga suriladi. Belgilangan belgini har bir ko'rsatkichga bog'lab qo'yilishi buferni to'sib qo'yuvchi birinchi belgi uchun muvofiqlik topilmaydigan hollarda ham kodlash bajarilishiga kafolat beradi.

Kodlovchi va kodni ochuvchi uchun talab etiladigan hotira hajmi oyna o'lchami bilan cheklanadi. Triadada (i) ning siljishi $[\log(N-F)]$ bitlari tomonidan taqdim etilishi mumkin, triada tomonidan almashtiriladigan belgilarning soni esa, (i) - $[\log F]$ bitlari tomonidan taqdim etilishi mumkin. Kodning ochilishi oson va tez amalga oshiriladi. Bunda kodlashdagi oyna

bilan ishlash tartibining aynan o'zi qo'llab-quvvatlanadi, biroq bir xil satrlarni qidirishdan farqli ravishda u aksincha ulardan navbatdagi triadaga muvofiq oynadan nusxa ko'chiradi. Nisbatan arzon apparaturada kodni ochishda 10 Mb/sek. tezligiga erishildi. Ziv va Lempellar N ning yetarli darajadagi ko'pligida LZ77 istalgan va bunga maxsus yo'naltirilgan yarim adaptatsiyalangan lug'atli usuldan ham matnni yaxshiroq siqishi mumkinligini ko'rsatib berdi. Ushbu dalil yarim adaptatsiyalangan sxema kodlanadigan matnning o'zidan tashqari lug'atga ham ega bo'lishi kerakligini tasdiqlaydi, bunda LZ77 uchun lug'at va matn – aynan bir xildir. Yarim adaptatsiyalangan lug'at elementining o'lchami unga mos keluvchi LZ77 da kodlanayotgan matndagi jumlaning o'lchamidan kam emas.

LZ77 ning har bir kodlash qadami bir xil vaqtni talab etadi, agar u katta bo'lsa, bu uning asosiy kamchiligi bo'lib hisoblanadi. Bunda to'g'ridan to'g'ri amalga oshirish ko'rilayotgan fragmentda belgilarni tenglashtirish $(N-F)*F$ operatsiyasiga qadar talab etilishi mumkin. Sekin kodlash va tez kodni ochishning ushbu hususiyati ko'pchilik LZ-sxemalar uchun xarakterlidir. Kodlash tezligi ikkilamchi daraxtlar, raqamli qidiruv yoki hesh-jadval daraxtlari singari tizimlardan foydalanish hisobiga oshirilishi mumkin, biroq bunda talab etiladigan xotira hajmi ham oshib ketadi. Bu amaliyotda, masalan, dialogli ma'lumot fayllari, qo'llanmalar, yangiliklar, telematnlar va elektron kitoblar bilan ishlashda tez-tez uchrab turadi.

LZR usuli LZ77 ga o'xshash, bunda u ko'rsatkichlarga matnning ko'rib chiqilgan qismida istalgan pozitsiyani adreslash imkonini berishi bundan mustasno. LZ77 uchun bu N parametrini kiruvchi matnning o'lchamidan katta qilib o'rnatilishiga o'xshash. Triadada i va j qiymatlari ixtiyoriy katta qiymatga o'sishi mumkinligi sababli, ular o'zgaruvchan uzunlikdagi butun kodlar sifatida taqdim etiladi. Ushbu usul Elias tomonidan qo'llanilgan va $C(w')$ sifatida belgilangan. Butun musbat sonni kodlashda kod uzunligi logarifmda uning o'lchamidan oshib ketadi. Masalan, 1, 8 va 16 sonlari uchun kodlar muvofiq ravishda 0010, 10010000 va 101100000 ga teng bo'ladi. Lug'atning kattaligiga qo'yiladigan cheklanishning yo'qligi tufayli LZR amaliyotda uncha qo'llanilmaydi, chunki bunda kodlash jarayoniga matnni joylashtirish uchun muvofiqlik qidiriladigan ko'proq xotira talab etiladi. Liniyaviy qidiruvdan foydalanishda n -belgili matn $O(n^2)$ vaqtda kodlangan bo'ladi.

LZSS usuli LZ77 va LZR ishining natijasi bo'lib qat'iy almashadigan ko'rsatkich va belgilarni o'zida ifoda etuvchi triadalar

seriyasi hisoblanadi. Har bir ko'rsatkich izidan aniq belgining qo'llanilishi amaliyotda bexuda urinish bo'lib hisoblanadi, chunki ko'pincha uni keyingi ko'rsatkich qismi qilib qo'yish mumkin.

LZSS ko'rsatkich va belgilarning erkin aralashmasidan foydalangan holda, ushbu muammo ustida ishlamoqda, bunda oxirgi yaratiladigan ko'rsatkich u kodlaydigan belgidan katta o'lchamga ega bo'lgan hollarda qo'shiladi. N belgilardan iborat oyna LZ77 dagi kabi qo'llaniladi, shuning uchun ko'rsatkichlar o'lchami doimiydir. Har qaysi ko'rsatkich yoki belgi uchun bir biridan ajratish uchun va ishlatilmaydigan bitlarni bartaraf qilish uchun qo'shimcha bit qo'shiladi.

LZB bu ular tomonidan adreslanadigan jumlaning uzunligidan qat'iy nazar, har bir ko'rsatkich LZSS da doimiy o'lchamga ega. Amaliyotda bitta uzunlikka ega jumlar boshqalarga nisbatan juda tez-tez uchrab turadi, shuning uchun turli uzunlikdagi ko'rsatkichlar bilan eng yaxshi siqishga erishish mumkin. LZB aniq belgilar va ularni farqlovchi bayroqlar singari ko'rsatkichlarni turli kodlash usullarini baholash bo'yicha tajribalarning natijasi bo'lib hisoblanadi. Ushbu usul LZSS ga nisbatan juda yaxshi siqishni beradi va parametrlarni tanlashga bo'lgan qo'shimcha afzalliklarga ega. Birinchi tashkil etuvchi ko'rsatkichda oyna boshidan boshlanish pozitsiyasi mavjud. LZB ushbu komponentga nisbatan ishlaydi. Dastlab, belgilar oynada 2 ta bo'lganida o'lcham 1 bitga teng bo'ladi, keyin, oynada 4 ta belgi bo'lganida 2 ta bitgacha o'sadi va h., bu oyna N belgini o'z ichiga olmaganiga qadar davom etadi. Ikkinchi tashkil etuvchi (jumla uzunligi) ko'rsatkichni kodlash uchun LZB Elias o'zgaruvchan uzunlikdagi kodlar sxemasidan foydalanadi – S (*gamma*). Chunki ushbu kod istalgan uzunlikdagi jumlani o'zida ifoda etishi mumkin, bunda hech qanday cheklashlar unga qo'yilmaydi.

LZH usuli ko'rsatkichlarini taqdim etish uchun LZB bir nechta oddiy kodlarni qo'llaydi, biroq eng yaxshi taqdim etish arifmetik kodlash yoki Xaffman kodlash vositasida ularni taqsimlash ehtimolligi asosida amalga oshirilishi mumkin. LZH-tizimi LZSS ga o'hshash, biroq ko'rsatkich va belgilar uchun Xaffman kodlashini qo'llaydi. Ushbu statistik kodlovchilardan bittasini LZ-ko'rsatkichlarga qo'llashda, katta miqdordagi kodlarni uzatish bo'yicha sarf xarajatlar tufayli (hattoki adaptiv rejimda) siqishni yaxshilash qiyinligi ma'lum bo'ldi. Bundan tashqari yakuniy sxemaga LZ-usulining tezkorligi va oddiyligi yetishmaydi.

Lempel – Ziv algoritmlarini iboralar bo'yicha arxivlovchi algoritmlar deyiladi, chunki ushbu algoritmlarda axborotdagi iboralar yoki

harflar birlashmasi oldinroq qaytarilgan xuddi shunday ibora yoki harflar birlashmasi bilan almashtirishga asoslangan. Iboralar bo'yicha yo'qotishsiz arxivlovchi algoritmlarni ayrim adabiyotlarda jadval asosida arxivlovchi algoritmlar ham deyiladi.

Avraham Lempel 1936 yil Polshaning Lvov shahrida tug'ilgan. Izrail olimi, informatik.

Yo'qotishsiz siqish algoritmi Lempel – Ziv – Welch (LZW) tomonidan 1984 yil chop etilgan.

Bu algoritm patenti aslida Zivga tegishli bo'lganligi sababli ham olimlar sharafiga LZW deb nomlanadi. Bu Lempel – Ziv tomonidan chop etilgan LZ78 algoritmini qayta ishlangan turidir. Algoritm shunday tuzilganki, uni qisqa vaqtda amalga oshirish mumkin va ishlashga qulay.



Avraham Lempel

Iboralar bo'yicha arxivlovchi algoritmlarning dastlabkisi 1977 yilda paydo bo'ldi va ushbu algoritmning nomi LZ77 deb nomlandi. Keyinchalik bir yildan so'ng ushbu algoritmning modifikatsiyalangan varianti yaratildi va algoritm nomi LZ78 deb atala boshlandi. Keyinchalik ushbu LZ oilasiga mansub bo'lgan ko'plab yangi arxivlovchi algoritmlar paydo bo'ldi.

Ushbu oilaga mansub bo'lgan eng sodda algoritmlardan biri hisoblanadign LZ78 algoritmi yordamida axborotni kodlashtirish jarayonini ko'rib chiqamiz. Masalan ushbu axborotni kodlashtirish talab qilsin "aaabbabaabaaabab". Ushbu axborotni 2.7-jadvalda ko'rsatilganidek 7 ta mayda iboralarga (harflar birlashmasi) bo'lamiz. Axborotdagi har bir harf yoki iboralar (harflar birlashmasi) o'zidan oldin qaytarilgan iboralar (harflar birlashmasi) va qo'shuv mavjud bo'lgan belgi bilan kodlanadi. Masalan oxirgi uchta belgi 4 ("b") iborasi sifatida kodlashtiriladi.

2.7-jadval

LZ78 algoritmi yordamida "aaabbabaabaaabab" axborotni kodlashtirish

Axborotni iboralarga bo'lish	a	aa	b	ba	baa	baaa	bab
Raqamlarga ajratish	1	2	3	4	5	6	7
Natija	(0,a)	(1,a)	(0,b)	(3,a)	(4,a)	(5,a)	(4,b)

Ko'rsatkichning oldinga siljish uzoqligi cheklanmagan (ya'ni, oyna yo'q), shuning uchun kodlash bajarilayotganida jummalarning to'planib borishi ko'payadi. Ularning ixtiyoriy ko'p miqdoriga yo'l qo'yilishi ko'rsatkich o'lchamini kattalashtirishni talab etadi. R jumla ajratilgan bo'lsa, ko'rsatkich $[\log R]$ bitlari sifatida taqdim etiladi. Amaliyotda lug'at cheksiz ravishda o'sib borishi mumkin emas. Foydalanish mumkin bo'lgan xotira to'lganidan so'ng, u tozalanadi va yangi matn boshidan boshlangani singari kodlash davom etadi. LZ78 ning eng yaxshi amaliy hususiyati bo'lib, kiritish yordamida raqamli qidiruv daraxtidan samarali qidiruv hisoblanadi. Har bir tugun tomonidan taqdim etiladigan jumla raqamini o'z ichiga oladi. Chunki kiritiladigan jumla undan oldingilardan biriga faqat bitta belgiga uzunroq bo'ladi, bunda ushbu operatsiyani amalga oshirish uchun kodlovchi daraxtdan bitta shox pastga tushishi kerak bo'ladi. LZ78 ning muhim nazariy xususiyati joriy matnni statsionar ergodik manba bilan ishlab chiqarishdagi kiritishning ma'lum darajada oshishida siqish optimalroq bo'lib hisoblanishidir. Bu shuni anglatadiki, LZ78 manba entropiyasi tomonidan belgilangan minimal o'lchamga cheksiz uzunlikdagi satrni keltiradi. Faqat ayrim siqish usullari ushbu xususiyatga egadir. Manba ergodik hisoblanadi, agar u tomonidan amalga oshiriladigan istalgan ketma-ketlik uni o'z uzunligining o'sishiga nisbatan aniqroq xarakterlasa. Bu o'ta zaif cheklash bo'lganligi tufayli, LZ78 matnlarni siqish muammosining yechimi bo'lib ko'rinishi mumkin. Biroq, optimallik kiritish hajmi cheksizlikka intilishida hosil bo'ladi, matnlarning ko'pchiligi esa ancha qisqaroqdir. Bu jumlaning butun kodning o'lchamidan ancha kichik bo'lgan aniq belgi o'lchamiga asoslangan. Uning uzunligi 8 bit bo'lganligi bois, 2^{40} jumlaning yaratishda u atigi chiqarishning 20 foizini egallaydi. Agar davomiylikdagi kiritish imkoni bo'lganida ham biz xotirani siqish optimal bo'lishidan ancha ilgariroq to'ldirib bo'lamiz. Real vazifa - LZ78 qanchalik tez ushbu chegaraga mos kelishini ko'rishdir. Amaliyotda ko'rganimizdek, muvofiqlik bu nisbatan sekinlikdir, LZ77 bilan qiyoslash usuli shundan iborat.

Hozirgi kunga kelib LZ oilasiga mansub bo'lgan algoritmlar ichida eng samaraliroqlaridan biri bu LZSS algoritmi hisoblanadi. Ushbu algoritmi 1982 yilda Storer va Jimanskilar tomonidan LZ77 algoritmini modifikatsiyalash natijasida paydo bo'ldi. Ushbu algoritmi vositasida axborotni kodlashtirilsa siqish koeffitsientining qiymati bir necha barobar katta. Ushbu algoritmi asosida axborotni kodlashtirishga misol ko'rib chiqamiz (2.8-jadval).

Hisoblash natijalari

Qadam	Siljuvchi oyna		Takrorlangan Ibora	Kodlashtirilgan ma'lumot			
	Iboralar	Bufer		f	i	j	s
1	-	AVAAD	-	0	-	-	A
2	A	VAADD	-	0	-	-	V
3	AV	AADDD	-	0	-	-	A
4	AVA	ADDDD	-	0	-	-	A
5	AVAA	DDDDD	-	0	-	-	D
6	AVAAD	DDDDV	-	0	-	-	D
7	AVAADD	DDDDVA	DD	1	2	2	-
8	AVAADDDD	DVAAV	-	0	-	-	D
9	AVAADDDDDD	VAAVA	VAA	1	3	8	-
10	AVADDDDDVAA	VAASSS	VAA	1	3	3	-
11	AVDDDDDDVAAVAA	SSSSEA	-	0	-	-	C
12	AVAADDDDDVAAVAAS	SSSEAF	-	0	-	-	C
13	AVAADDDDDVAAVAASS	SSEAFF	CC	1	2	2	-
14	AVAFDDDDDDVAAVAASSSS	YeAFFF	-	0	-	-	Ye
15	AVAADDDDDVAAVAASSSS	AFFFFD	-	0	-	-	A
16	AVAADDDDDVAAVAASSSS	FFFDA	-	0	-	-	F
17	AVAADDDDDVAAVAASSSSE	FFDAA	-	0	-	-	F
18	AVAADDDDDVAAVAASSSSE	FFDAA	FF	1	2	2	-
19	AVAADDDDDVAAVAASSSSE	DAAAA	-	0	-	-	D
20	AVAADDDDDVAAVAASSSS	AAAA	AA	1	2	13	-
21	AVAADDDDDVAAVAASSSS	AA	AA	1	2	2	-

Axborot sifatida quyidagi axborotni olamiz:

VAADDDDDDBAACCCCEAFFFFDAAAA

f – bayroqcha;

i – takrorlangan iboraning uzunligi;

j - takrorlangan iboraning necha qadam oldin qaytarilganligi;

s – ochiq holatda uzatilgan belgi.

$$N_{chiq} = 14*(1+8)+7*(1+3+5) = 189 \text{ (bit)}$$

$N_{kir} = 30*8 = 240$ bit. Axborot hajmini kamaytirish natijasida olingan yutuq $240-189 = 51$ bitga teng.

LZW, LZ78dan LZWga o'tish, LZ77dan LZSSga o'tish bilan paralleldir. Har bir jumladan keyin aniq belgini xulosaga kiritish ko'pincha

bexuda urinish hisoblanadi. LZW ushbu belgilarni har tomonlama boshqaradi, shuning uchun xulosa faqat ko'rsatkichlarni o'z ichiga oladi. Bunga dastlabki alifboning barcha belgilarini o'z ichiga oluvchi jumlar ro'yhatini initsializatsiya qilish bilan erishiladi. Har bir yangi jumlaning oxirgi belgisi keyingi jumlaning birinchi belgisi singari kodlanadi. Agar jumla boshqa, bevosita undan oldingi jumla bilan kodlangan bo'lsa, kodni ochishda yuzaga keladigan vaziyat asosiy e'tiborni talab etadi, lekin bu hal etib bo'lmaydigan muammo bo'lib hisoblanmaydi. LZW dastlab disk kanalining maxsus qurilmasi vositasida ma'lumotlarni diskka yozib olishda ularni siqish usuli sifatida taklif etilgan. Axborot bahosining o'ta yuqoriligi bois, bunday yondoshuvda muhimi siqish juda tez bajarilishi kerak. Ko'rsatkichlarning uzatilishi uchun (odatda) 12 bitli doimiy o'lchamdan foydalanilganda uni soddalashtirish va tezlashtirish mumkin. 4096 jumlaning ajratilishidan keyin yangilarini ro'yhatga kiritish mumkin emas, hamda kodlash statik bo'lib qoladi. Bunga bog'liq bo'lmagan holda, amaliyotda LZW maqbul siqishga erishadi va adaptiv sxema uchun juda tezkor bo'lib hisoblanadi. Miller va Vegmanning birinchi varianti LZW ning mustaqil kashfiyoti bo'lib hisoblanadi.

LZS – ushbu sxema UNIX tizimida foydalaniladigan COMPRESS dasturi tomonidan qo'llaniladi. Bu LZW amalga oshirish singari boshlangan edi, lekin keyinchalik yaxshiroq va o'ta tezkor siqishga erishish maqsadida bir necha marotaba o'zgartirildi. Natija bo'lib esa yuqori xarakteristikalariga ega sxema hisoblandi, bu esa hozirgi vaqtda o'ta foydalilardan biri bo'lib hisoblanadi. Avvalgi modifikatsiya ko'rsatkichlarga nisbatan LZ78 uzunlikdagi singari o'zgaruvchan bo'lib ishlagan. Ko'rsatkichlar bilan ishlaydigan dastur bo'limi samaradorlik uchun assemblerda yozilgan edi. Xotiraning lug'at bilan to'lishining oldini olish uchun parametr sifatida ko'rsatkichning maksimal uzunligi (odatda 16 bit, lekin uncha katta bo'lmagan mashinalar uchun kamroq) uzatilishi kerak. Lug'at to'lganidan keyin xotirani tozalash uchun LZS siqish koeffitsientini kuzatadi. Faqat uning yomonlashishi boshlanganidan keyingina lug'at tozalanadi va eng boshidan yangidan quriladi.

LZT usuli LZS ga asoslangan. Asosiy farqi shundan iboratki, lug'at to'lganida yangi jumlar uchun joy oxirgi paytlarda eng kam foydalaniladigan jummalarni tashlab yuborish bilan yaratiladi (LRU-almashtirish). Bu hesh-jadval ko'rinishida tashkil etilgan o'z-o'zini tartibga soladigan jumlar ro'yhatining qo'llab quvvatlanishi bilan samarali ravishda amalga oshiriladi. Ro'yhat shunday loyihalashtirilganki, bunda jumla ko'rsatkichli operatsiyalarning uncha katta bo'lmagan soni

hisobiga almashtirilishi mumkin bo‘ladi. Qo‘shimcha xo‘jalik tufayli ushbu algoritim LZSdan sal sekinroqdir, lekin juda yaxshilab o‘ylab chiqilgan jummalarni tanlash lug‘atda aynan shunday siqish koeffitsientiga xotirani kamroq sarflanishi bilan erishishni ta‘minlaydi. Shuningdek, LZT LZSga nisbatan jummalarning raqamini ancha yaxshiroq bo‘lgan ikkilamchi kodlash fazasiga bo‘lish usuli vositasida ancha samaraliroq qilib kodlaydi (uni shuningdek ba‘zi boshqa LZ-usullariga qo‘llasa ham bo‘ladi). Bunda kodlovchi va kodni ochuvchiga qidirish va LRU-ro‘yhatini qo‘llab quvvatlash vazifasiga nisbatan muhim bo‘lmagan uncha katta bo‘lmagan qo‘shimcha harajatlar talab etiladi.

LZMW, LZ78 dan bo‘lgan barcha hosila algoritmlar lug‘at uchun mavjud bo‘lgan jumlagacha bitta belgini qo‘shish yo‘li bilan yangi jumla yaratadi. Ushbu usul shak-shubxasiz amalga oshirishni oddiylashtirsa ham, o‘ta ixtiyoriydir. LZMW lug‘at yozuvlarini shakllantirish uchun boshqacha yondoshuvdan foydalanadi. Yangi jumla oxirgi ikkita kodlangan jummalarni konkatenatsiya qilish yordamida yaratiladi. Bu esa jumla tez o‘shishidan darak beradi va ularning barcha prefikslari ham lug‘atda joylashavermaydi. Kam foydalaniladigan jumla LZTdagi kabi lug‘atning cheklangan hajmida ishning adaptiv rejimini ta‘minlash uchun yo‘qotilib boriladi. Umuman olganda, jumla tezkorlik bilan tuzish strategiyasi LZMWda bir vaqtning o‘zida jumlaning bitta belgiga o‘shishiga nisbatan eng yaxshi siqishga erishiladi, lekin samarali amalga oshirish uchun yaxshilab o‘ylab chiqilgan daraxtlar tizimi zarurdir.

LZJ o‘zida uning variantlari qatoridagi yetishmovchilikni to‘ldiruvchi LZ-siqishga yangicha yondoshuvni ifoda etadi. Dastlab taxmin qilinayotgan LZJ lug‘ati uzunligi bo‘yicha ayrim maksimal h qiymati (h 6 atrofida yaxshi ishlaydi) bilan cheklangan matnning ko‘rib chiqilgan qismidagi har bir yagona satrini o‘z ichiga oladi. Lug‘atning har bir jumlasiga 0 dan $N-1$ gacha bo‘lgan chegaradagi (N 8192 atrofida) qayd etilgan uzunlikdagi tartib raqami biriktiriladi. Har bir satr kodlanishining kafolati uchun lug‘atga ko‘plikdagi joriy belgilar kiritiladi. Lug‘at to‘liq bo‘lganida kirishda bir marta paydo bo‘ladigan satrning yo‘qotilishi bilan qisqartiriladi. LZJ da kodlash va kodning ochilishi matnning kodlangan qismidagi satr ostini saqlash uchun qidiruvning raqamli daraxti strukturasi asosida bajariladi. Daraxtning balandligi h belgilari bilan cheklangan va u N tugunlardan ko‘pini o‘z ichiga olmaydi. Satr unga muvofiq bo‘lgan tugun tomonidan biriktirilgan yagona raqam bo‘yicha taniladi. Kodni ochish jarayoni aynan shunaqa daraxtni daraxt bo‘ylab yuqoriga harakat

qilgan holda, tugun raqamini qaytadan satr ostiga qayta o'zgartirish usuli bilan qo'llab-quvvatlashi kerak.

LZFG - Fiallo va Grini tomonidan taklif etilgan bo'lib, bu LZ-variantlaridan eng samaralisidir. U ortiqcha xotirani talab etmagan holda tez kodlash va kodni ochishni, yaxshi siqishni beradi. U aynan bir xil jummalarni ikkita har xil ko'rsatkichlar bilan kodlash imkoniyatida kodlangan matnni raqamli qidiruv daraxti ko'rinishida saqlash va chiqish fayliga daraxt pozitsiyasini joylashtirgan holda yo'qotishlarning bartaraf etilishida LZJ ga o'xshashdir. Kodni ochish jarayoni daraxtlarning bir xil tizimini qo'llab quvvatlashi kerak, chunki o'zi hamda kodlovchi uchun aynan o'sha resurslar talab etiladi. LZFG LZ78 ning texnikasi yordamida LZJ ga nisbatan o'ta tezkor siqishga erishadi, bunda ko'rsatkichlar avvalgi ajratilgan jumla doirasidan tashqarida boshlanishi mumkin. Bu har bir kodlanadigan jumla uchun lug'atga bitta jumla kiritilishini bildiradi. LZ78 dan farq qiluvchi jihatlari ko'rsatkichlar qanchalik ko'p belgilardan nusxa ko'chirilishi kerakligini ko'rsatuvchi cheklanmagan uzunlikdagi komponentlarni o'z ichiga oladi. Kodlangan belgilar oynada (LZ77 uslubida) joylashtirilgan hamda oynani tark etuvchi jumlar raqamli qidiruv daraxtidan olib tashlanadi. Kodlarni samarali ravishda taqdim etish uchun o'zgaruvchan uzunlikdagi kodlar qo'llaniladi. Yangi jumlar belgilar ortidan keluvchi belgilar hisoblagichi yordamida kodlanadi.

Axborotni arxivlashning tavsiflovchi ko'rsatkichlar:

1) Arxivlash koeffitsienti:

$$K = \frac{n}{q}$$

bunda n – xabarni uzatish uchun minimal zarur bo'lgan belgilar soni (amaliy jihatdan bu siqishning etalon algoritmi chiqishidagi belgilar sonidir);

q – ushbu algoritm bilan siqilgan xabardagi belgilar soni. Ikkilamchi kodlashda n axborot manbai entropiyasiga tengdir.

2) Xabarning ortiqcha koeffitsienti. A xabarining ortiqcha koeffitsienti quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$r = \frac{(I_{\max} - I)}{I_{\max}}$$

Mustaqil ishlash uchun topshiriqlar

Variant	Xabarlar
1	BBCCCCDEEEEFFFGGGGFFFFFFDD
2	DFABBEECEDDEFFFAEBBCBBBBBC
3	CCCCCCCCCBBBBBAAAADDDDEEEF
4	BCDEEFAACCADEEDDDEDBAAEEEDDD
5	AAAAAAAAABBAAAABBBCCCCCDDDDDEEE
6	CEDDBCEFABBBFDDFAEBAADDDEEAAA
7	BBCBBDBBDEEFDABBDABBBBACACCEG
8	DDFEBBCAADAEEFFBEGHAABFFBD
9	BBCBBBCDDEDAAADDFFGGHHEE
10	DDECBFEEEEAAADBBBEEEA AAAABBB
11	CAADDDAEDADDEAAEBEFBEDEFEEA
12	FFBBCDEEA AFDFFGBBGFADAABFFFF
13	CEEFFDDDEBBAAAEDEDAECBAADDD
14	EEEEBBBEEEEBBCCCCDDDDFFFFAEEEE
15	GBDBBBADDABADAAAFFEEEEBBBEE
16	BBBAAAEDDAAABBFEFFDDEEGAAAAA
17	FFBBCDEEA AFDFFGBBGFADAAA
18	GFFFFBBBBBAAAACCFFFFCCDDE
19	ABBCEHABCAEGAAAAAADADDDDD
20	AAAAAAABBCCDDEEFFGGHHHAAAA
21	ABBBCEDDEFFFAEBBCCCCADAAABB
22	DDDDDDDDAAABBBCCCDDDEEEFFF

Nazorat savollari:

1. LZ-usullarining qanday turlari mavjud?
2. LZ-usullarining bir – biridan farqlari nimada?
3. Algoritmlar ichida eng samarali algoritm qaysi hisoblanadi?
4. Siqishning lug‘atli usuliga tushuncha bering?

3-bob. AXBOROTNI UZATISH TIZIMLARIDA ISHONCHLILIK. SHOVQINBARDOSH KODLASH

3.1. Shovqinli kanalda kodlash. Shannon teoremasi

Zamonaviy telekommunikatsiya tizimlari ularga xalaqitlar, shovqinlar ta'sir qilganda ham, o'zlarining sifatli ishlash qobiliyatlarini yo'qotmasliklari lozim. Shuning uchun axborotlarni kodlashda shovqinbardosh kodlar ishlatiladi.

Umuman olganda uzatilgan axborotni to'g'ri qabul qilishning ikki xil usuli mavjud:

1. *Aloqa kanallarini sifat ko'rsatkichlarini yaxshilash.* Amaliyotda bunga erishish juda qiyin. Sababi tarmoqda qo'llanilib kelinayotgan eski turdagi telekommunikatsiya tizimlari evaziga bugungi kundagi talablarga javob beradigan ma'lumot uzatishning sifat ko'rsatkichlari sezilarli darajada pasayib ketishi mumkin;

2. *Signallarni shovqinbardosh kodlar bilan kodlashtirish.* Bu usul yordamida uncha katta bo'lmagan iqtisodiy – xarajatlarsiz axborot uzatish butunligini ta'minlash mumkin.

Misol. Koeffitsient xatoligini o'lchash usullari

$$K_{xato} = \frac{n_{xato}}{N_{uzatish}} = \frac{n_{xato}}{B * T}$$

B=14400 bit/s;

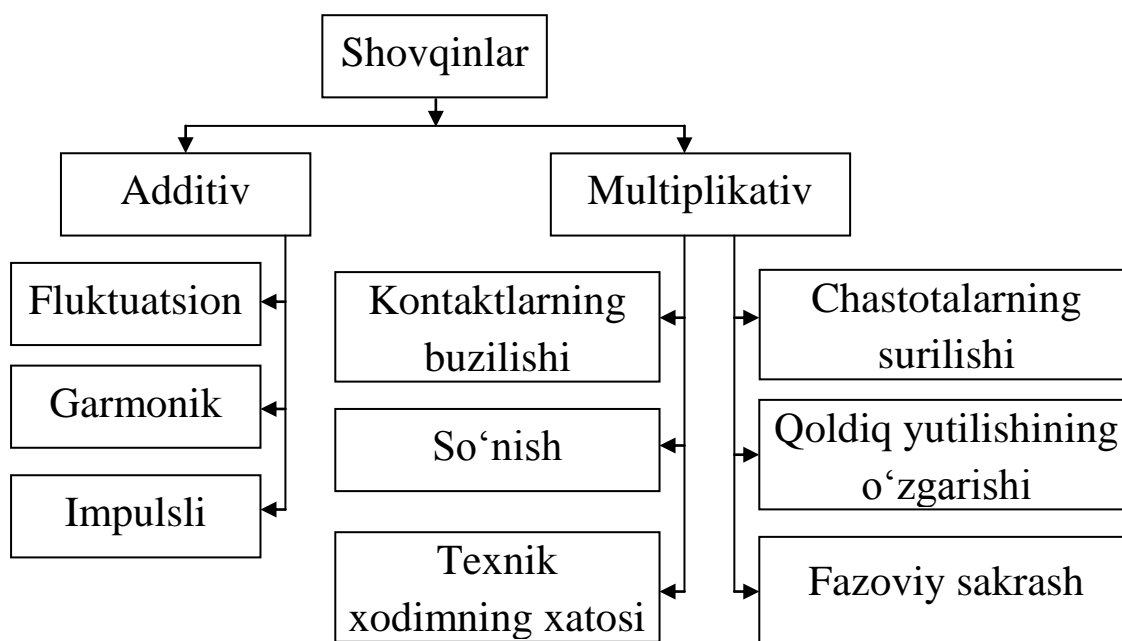
T=15 min (har 15 minutda o'lchaganda);

n_{xato} =1600 berilgan bo'lsin.

$$K_{xato} = \frac{n_{xato}}{B * T} = \frac{1600}{14400 * 15 * 60} \approx 1 * 10^{-5}$$

3.1-rasmda signalga ta'sir etish xarakteri bo'yicha shovqinlar klassifikatsiyasi keltirilgan.

Izlanish shuni ko'rsatdiki, impulsli shovqinlarning xarakati tufayli xatoliklar soni -10-20% ni tashkil etadi. To'xtalish hisobiga xatoliklar soni – 80-90% ni tashkil etadi.



3.1-rasm. Signalga ta'sir etish xarakteri bo'yicha shovqinlar klassifikatsiyasi

Shovqinli diskret aloqa kanali uchun Shannon teoremasi.

Shovqinli diskret kanal uchun Shannon tomonidan quyidagi teorema isbotlangan.

Agar manba tomonidan ishlab chiqarilgan axborot oqimi, kanalning o'tkazish qobiliyatiga yetarlicha yaqin bo'lsa, bunda manba ishlab chiqargan barcha xabarlarini uzatishni ta'minlay oladigan kodlash usulini doim topish mumkin va yuborilgan har qanday xabarning xatolik bilan aniqlash ehtimolligi shuncha kam bo'ladi.

Manba axborot oqimi va kanalning o'tkazish qobiliyatining matematik yaqinligi quyidagi tenglik ko'rinishida yoziladi:

$$\bar{I}(x) = C - \sigma,$$

bu yerda $\bar{I}(x)$ - axborot uzatish tezligi;

C – kanalning o'tkazish qobiliyati;

σ - hohlagan kichkina (cheksiz) miqdor.

Topilmagan xatolik ehtimolligining qanday darajada kichikligi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$P_{n.a.e} < \eta$$

bu yerda $P_{n.a.e}$ - yuborilgan xabarni noto'g'ri aniqlash ehtimolligi;
 η – qancha bo'lsa ham kichkina miqdor.

Teoremaning teskari talqini shundan iboratki, agar manbaning axborot oqimi kanalning o'tkazish qobiliyatidan oshsa, unda har qanday xabarni kichik xatolik ehtimolligi bilan uzatishni ta'minlovchi kodlash usuli mavjud emas.

Bu teorema manba tomonidan yaratilgan xabar tezligi, kanalning o'tkazish qobiliyati orasidagi bog'liqlikni shovqin va qabul qilishda xabarni aniqlay olish ishonchliligi mavjudligini belgilab beradi.

Shannon teoremasi axborot uzatish tezligini kanalning o'tkazish qobiliyatiga yaqinlashtirish uchun optimal kodlar topishning amaliy yo'llarini belgilamaydi.

Shovqinli va shovqinsiz kanallar uchun uzatish tezligini maksimal qiymatga yaqinlashtirishning umumiy usuli uzun xabarlarini kodlash hisoblashigina belgilangan.

Shennongacha kanalda belgilangan shovqinlarni eng kichik xatolik ehtimolligini faqatgina uzatish tezligi nolga intilgandagina ta'minlash mumkin deb hisoblangan. Teorema tegishli kodlash usulini tanlash orqali eng kichik xatolik ehtimolligini ta'minlash mumkinligini ko'rsatyapdi.

Nazorat savollari:

1. Uzatilgan axborotni to'g'ri qabul qilishning nechta usuli mavjud?
2. Shovqinli diskret aloqa kanali uchun Shannon teoremasi qanday?
3. Koeffitsient xatoligini o'lcha qanday amalga oshiriladi?
4. Qanday shovqin turlarini bilasiz?

3.2. Shovqinbardosh kodlash. Chiziqli va blokli kodlar

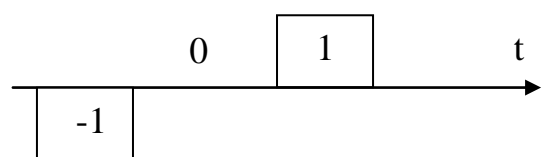
Kod deb – istalgan ko'rinishdagi axborotni masofadan turib uzatish uchun qulay shaklda ifodalashga mo'ljallangan shartli belgilar (simvollar) yoki signallar sistemasiga aytiladi.

Bu belgilar yoki signallar to'plamiga kod alfaviti deyiladi. Koddagi elementlar yoki belgilar soni har doim chegaralangan bo'ladi. Bu elementlardan kodli kombinatsiyalar tuziladi. Kod alfavitidagi belgilar soni (kod asosi) ga qarab quyidagicha bo'linishi mumkin (3.2-rasm):

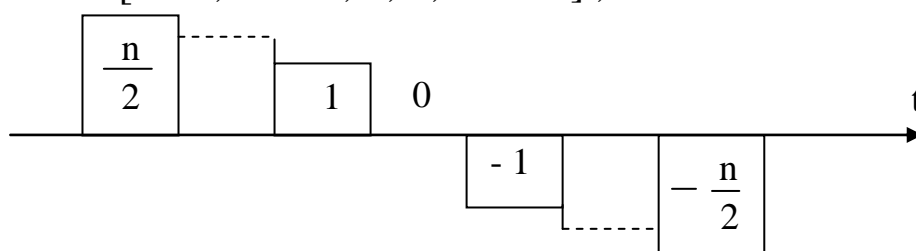
- 1) Ikkilamchi (2 asosli) kod $[0,1]$ $m = 2$



2) Uchlamchi (3 asosli) kod $[0, 1, -1]$ $m = 3$



Ko'p asosli kod $[-n/2; \dots -1; 0; 1; \dots n/2]$, $m = n$



3.2-rasm. Kod alfavitidagi belgilar soni

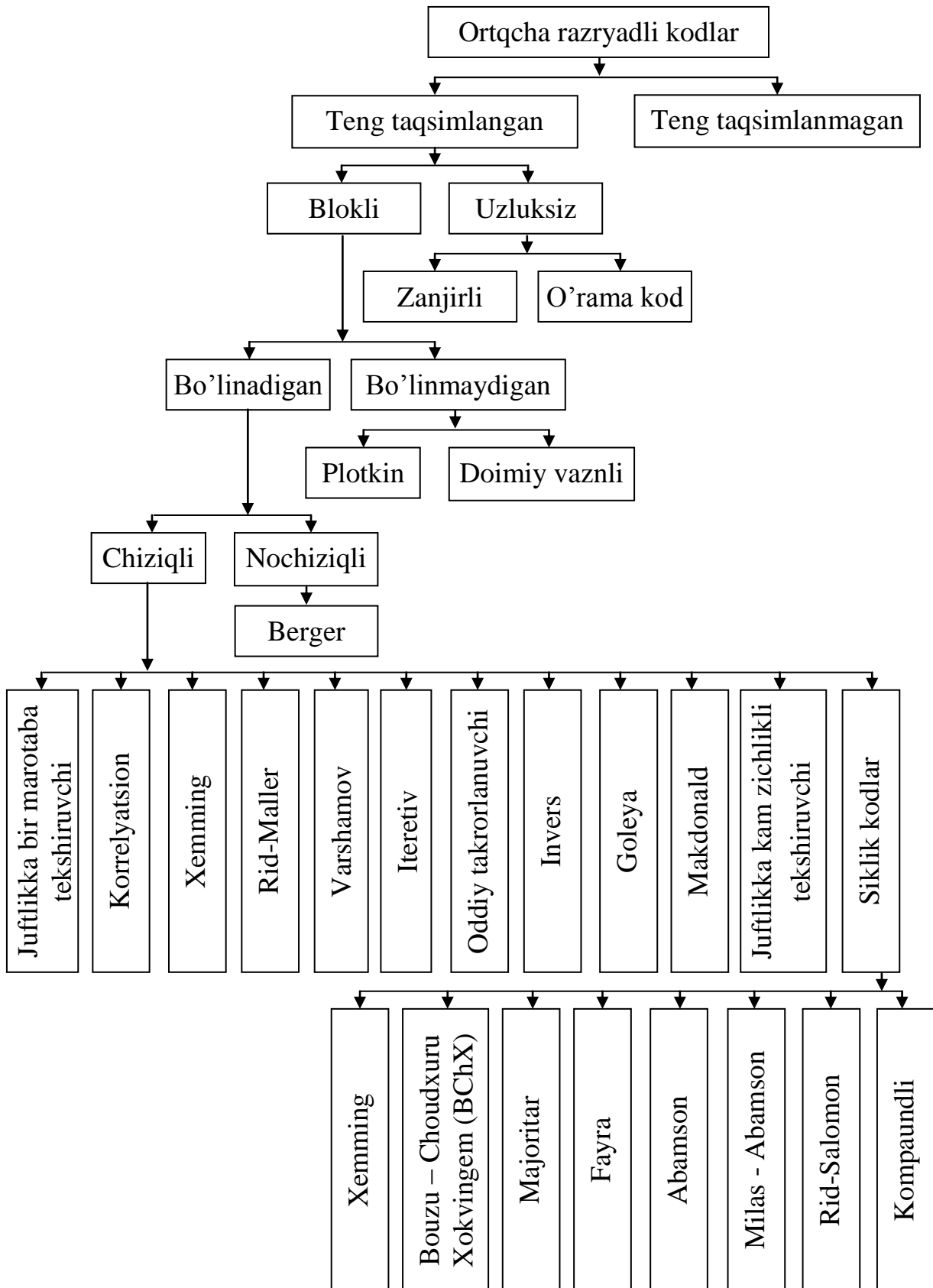
Shovqinbardosh kod deb – xato qabul qilingan razryadlarni aniqlaydigan va to'g'riylaydigan kodga aytiladi.

Bunday kodlar quyidagi prinsipga asoslanib tuziladi: n razryadli kodli kombinatsiyalar soni N ta bo'lsin. Lekin axborot uzatish uchun esa faqatgina ulardan N_r tasi ishtirok etadi va ular ruxsat etilgan kombinatsiyalar deyiladi. $N - N_r$ tasi esa man qilingan kodli kombinatsiyalar deyiladi.

Agar uzatish tomonidan ruxsat etilgan kodli kombinatsiya uzatilsa va unga xalaqit ta'sir qilsa, buning natijasida qabul qilish tomonidan boshqa man qilingan kodli kombinatsiya qabul qilinadi. Bu esa uzatilgan kodli kombinatsiyaning xato qabul qilinganligini ko'rsatadi. Masalan, ruxsat etilgan kodli kombinatsiyalar bir – biridan ikkita razryadga farq qilsin. Ya'ni kod masofasi $d=2$: 0011, 0110, 1001, 1010, 1100, 0101 va hokazo 0111 – bu kombinatsiya man qilingan kodli kombinatsiyani xato qabul qilinganligidan dalolat beradi.

Ushbu misoldan ko'rinib turibdiki, shovqinbardosh kodlarni hosil qilish uchun ortiqcha razryadli kodlar ishlatiladi. Masalan 8 ta kombinatsiyali kod uchun 4 ta razryadli kod ishlatiladi. Aslida oddiy kod orqali kodlashtirishda 8 ta kombinatsiya uchun atigi 3 ta razryad ($2^3=8$) yetarlidir.

Shovqinbardosh kodlarning klassifikatsiyasi 3.3 – rasmda keltirilgan. Shovqinbardosh kodlar teng taqsimlangan va teng taqsimlanmagan kodlarga bo'linadi.



3.3-rasm. Shovqinbardosh kodlarning klassifikatsiyasi

Agar kodli kombinatsiyalarda kombinatsiyadagi razryadlar soni bir xil bo'lsa, bunday kodlar teng taqsimlangan kodlar deyiladi.

Agarda kodli kombinatsiyalardagi razryadlar soni har xil bo'lsa, bunday kodlar teng taqsimlanmagan kodlar deyiladi.

Teng taqsimlangan kodlar ikki turga bo'linadi:

– blokli;

– uzluksiz.

– **Blokli kodlar** uzatilayotgan axborot ketma-ketlik alohida kodli kombinatsiyalarga bo'linadi, ular bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda kodlanadi va dekoderlanadi. Bu holat uzatilayotgan xabarga n ta elementlardan tashkil topgan blok yoki har xil elementlardan iborat bo'lgan blok mos keladi.

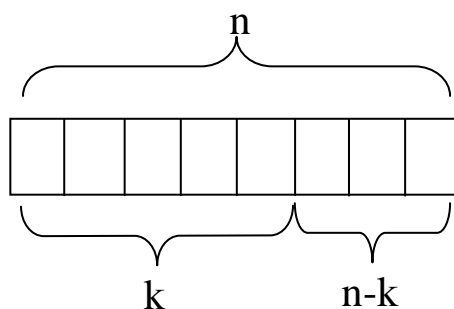
– Uzluksiz kodlar esa axborot razryadlarning uzluksiz ketma-ketligidan iborat va ularni bo'laklarga bo'lib bo'lmaydi. Bunday kodlarda axborot razryadlar orasiga ortiqcha razryadlar ma'lum tartibda joylashtiriladi.

Blokli kodlar o'z navbatida bo'linuvchi va bo'linmaydigan kodlarga ajraladi. Bo'linuvchi kodlarda axborot va tekshiruvchi razryadlar bo'lib, ular aniq bir-biridan ajratilgan holda bo'ladi. Bunday kodlar (n,k) kabi belgilanadi (3.4-rasm):

bu yerda: n - blokli kodli kombinatsiyadagi umumiy razryadlar soni;

k - axborot razryadlar soni;

$r = n-k$ tekshiruvchi razryadlar soni.



3.4-rasm. Bo'linuvchi kodlarda axborot va tekshiruvchi razryadlar

Tekshiruvchi razryadlar (r) yordamida kodli kombinatsiyadagi xato qabul qilingan razryadlarni aniqlash va ularni to'g'irlash mumkin.

Bo'linmaydigan kodlardagi razryadlarning qaysi birlari axborot, qaysi birlari tekshiruvchi ekanligini ajratib bo'lmaydi. Bo'linuvchi kodlar ham o'z navbatida chiziqli va nochiziqli kodlarga bo'linadi.

Chiziqli kodlar deb – shunday (n,k) blokli bo'linuvchi kodlarga aytiladiki, ulardagi tekshiruvchi razryadlar, axborot razryadlarning chiziqli kombinatsiyalaridan iborat bo'ladi. Chiziqli kodlar hozirgi kunda eng

keng tarqalgan kodlar sarasiga kiradi. Bunga misol sifatida siklik kodlarni keltirish mumkin.

Biz kelgusida siklik kodlar guruhiga kiruvchi Fayra kodi xamda Rid – Solomon kodi xaqida kengroq to‘xtalamiz.

Quyida shovqinbardosh kodlarning parametrlari haqida fikr yuritamiz.

Ikkita kodli kombinatsiyaning kod masofasi d deb – shu ikkita kodli kombinatsiyalarning o‘zaro farq qiluvchi razryadlar soniga aytiladi.

Masalan: 11011 va 00010 kombinatsiyalar orasidagi kod masofasi 3 ga teng.

$$\begin{array}{r} \otimes \quad 1\ 1\ 0\ 1\ 1 \\ \quad \quad 0\ 0\ 0\ 1\ 0 \\ \hline \quad \quad 1\ 1\ 0\ 0\ 1 \end{array}$$

Chunki ular birinchi, ikkinchi va beshinchi razryadlar bilan farq qiladi. Koddagi kod masofalarining eng kichigiga Xemming masofasi deyiladi – d_0 .

Shovqinbardosh kodlar quyidagi vazifalarda qo‘llanilishi mumkin:

- xatoni aniqlovchi kodlar;
- xatoni aniqlovchi va to‘g‘irlovchi kodlar.

Xatoni aniqlovchi kodlar uchun minimal kod masofasi quyidagi tengsizlikni qanoatlantirishi lozim:

$$d_0 \geq t_A + 1$$

d_0 – minimal kod masofasi yoki Xemming masofasi;

t_A – aniqlanadigan xatolar soni.

Xatoni to‘g‘irlovchi kodlar uchun minimal kod masofasi quyidagi tengsizlik bajarilganda o‘rinli bo‘ladi:

$$d_0 \geq 2t_T + 1$$

t_T - kodli kombinatsiyalardagi to‘g‘irlovchi xatolar soni.

Minimal masofaning ortishi bilan kodlarning to‘g‘irlash xususiyati ortib boradi. Ruxsat etilgan kombinatsiyalar soni N_r o‘zgarmas bo‘lganda, kod masofasi d ortishi uchun $N - N_p$ man etilgan kombinatsiyalarning sonini orttirish lozim. Bu holatda kodli kombinatsiyaning ortiqchaligi ortadi:

$$R = \frac{n-k}{n} = 1 - \frac{\log_2 N_p}{\log_2 N}$$

k – axborot razryadlar soni;

n – umumiy razryadlar soni;

R – kodli kombinatsiyaning ortiqchaligi yoki ortiqchalik koeffitsienti.

To‘g‘irlovchi kodlarning ortiqchaligi axborot uzatish tezligini kamayishiga olib keladi. Bu esa uning asosiy kamchiligidir. Ammo bu kodlarning ishlatilishi uzatish ishonchliligini ortishini ta‘minlaydi.

Kod t_A karralik xatolarni aniqlashi va t_t karralik xatolarni to‘g‘irlashi uchun, kod masofasi quyidagi tengsizlikni qanoatlantirishi lozim:

$$d_0 \geq t_A + t_T + 1$$

$d_0 = 3$ kod masofasi uchun tekshiruvchi razryadlar soni r va umumiy razryadlar soni n orasida quyidagi bog‘liqlik mavjud:

$$r \geq \log_2(n+1)$$

Kod uzunligi $n=k+r$ – kodli kombinatsiyadagi umumiy razryadlar soni.

Tekshiruvchi razryadlar soni r – xatolarni to‘g‘irlash uchun zarur bo‘lgan kodli kombinatsiyadagi razryadlar soni.

Kod asosi m – kodli kombinatsiyadagi bir – biridan farq qiluvchi impuls belgilarining qiymatlar soni. Impuls belgilarining qiymati sifatida 0 va 1 raqamlaridan foydalaniladi.

Kodning quvvati N_p – xabarni uzatish uchun foydalaniladigan kodli kombinatsiyalar soni:

$$N_p = 2^k$$

Kodli kombinatsiyalarning umumiy soni N – hamma mumkin bo‘lgan kombinatsiyalar soni:

$$N = m^n$$

Kodli kombinatsiyaning vazni ω – kodli kombinatsiyadagi birlar soniga teng bo‘ladi. Masalan: 10011111000 dagi umumiy razryadlar soni $n = 11$, vazni $\omega = 6$ ga teng, sababi 1 lar soni 6 ta.

Kodning sonli xarakteristikasi $W(\omega)$ – ω vaznli kodli kombinatsiyalar soni. Masalan 00000, 01110, 10101, 11011 kodli kombinatsiyalardan iborat bo‘lgan kodning sonli xarakteristikasi quyidagicha:

$$W(0) = 1; W(3) = 2; W(4) = 1$$

Aniqlanmaydigan xatolar ehtimolligi ($R_{\text{aniqm. xato ext.}}$) – qabul qilingan kodli kombinatsiya uzatilgandan farq qilganda kod buni farqlash xususiyatiga ega emas. Mana shu xodisa ro‘y berishi ehtimolligi – aniqlanmaydigan xatolar ehtimolligi ($R_{\text{aniqm. xato ext.}}$) deyiladi.

Nazorat savollari:

5. Kod deb nimaga aytiladi?
6. Shovqinbardosh kod deb nimaga aytiladi?
7. Blokli kodga tushuncha bering?
8. Chizikli kodga tushuncha bering?

3.3. Siklik kodlar. Goley va Xemming kodlari

Sistematik kodlarning turi bo‘lgan siklik kodlar xatoliklarni to‘g‘irlash xususiyati tufayli amaliyotda keng tarqalgan. Siklik kodlarda kodli kombinatsiya quyidagicha ifodalanadi:

$$G(x) = a_{n-1}x^{n-1} + a_{n-2}x^{n-2} + \dots a_1x + a_0,$$

bunda a_0, a_1, \dots, a_{n-1} - 0 yoki 1ga teng koeffitsientlar. Masalan, 1100101 kombinatsiya $G(x) = x^6 + x^5 + x^2 + 1$ ko‘rinishda bo‘ladi.

Bunday kodlarda ruxsat etilgan kodli kombinatsiyaning siklik siljishi ham ruxsat etilgan kodli kombinatsiya bo‘ladi: 1000111 kombinatsiya ruxsat etilgan bo‘lsa, 0001111, 0011110 va h.k. kombinatsiyalar ham ruxsat etilgan kombinatsiyalar bo‘ladi.

Siklik siljish jarayoni kodli kombinatsiyani x ga ko'paytirish orqali amalga oshiriladi:

$$xG(x) = a_{n-1}x^n + a_{n-2}x^{n-1} + \dots + a_1x^2 + a_0x$$

Uzunligi n ga teng kombinatsiya uchun polinom darajasi $n-1$ dan oshmaydi (aks holda kodli kombinatsiya uzunligi n dan oshib ketadi) va x^n o'rniga 1 yoziladi:

$$xG(x) = a_{n-2}x^{n-1} + \dots + a_1x^2 + a_0x + a_{n-1}$$

Demak, $xG(x)$ ham $G(x)$ kombinatsiyasining siklik siljishi hisoblanadi.

Kodlashtiruvchi qurilmalarning vazifasi k -elementli kombinatsiyani $(a_0, a_1, \dots, a_{k-1})$ tashqi ortiqcha kodlarsiz n -elementli kombinatsiyaga ega $(a_0, a_1, a_2, \dots, a_{n-1})$ ortiqcha siklik (n, k) -kodga o'zgartirishdir. Shunday qilib siklik kodlarning har bir kombinatsiyasi $(n-k)$ ortiqcha elementlardan iborat bo'ladi. Keng ma'noda kodlashtirish deganda aloqa kanallari bo'ylab ma'lumotlarni uzatish uchun qulay shaklda xabarlarini taqdim qilish tushuniladi.

Shunday qilib, Goley kodi siklik kodlarning turli shakllari bo'lib, unga kodlashtirishning quyidagi usullari qo'llaniladi:

1- usul: hosil qiluvchi $g(x)$ polinomga bo'lish

$$\frac{x^r \varphi(x)}{g(x)} = Q(x) + \frac{R(x)}{g(x)}$$

Tenglama ko'rinishini o'zgartirib quyidagi ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$Q(x)g(x) = x^r \varphi(x) + R(x)$$

bunda $\varphi(x)$ - kodli kombinatsiya,

r - shakllanuvchi polinom darajasi.

Kodlashtirishning mazkur usuli quyidagilarga asoslangan:

1. Kodli kombinatsiya $a=(a_0, a_1, \dots, a_{k-1}) x^r$ razryadlar bilan chapga siljiydi (siljish x^r ga ko'paytirishga o'xshash bo'ladi);

2. Siljish natijasida olingan kombinatsiyani $a=(a_{k-1}, \dots, a_{n-1})$, shakllangan polinomga bo'lamiz $g(x)$;

3. $R(x)$ ni bo'lishdan olingan qoldiq (a_0, \dots, a_{n-1}) kodli

kombinatsiya o'rniga joylashtiriladi.

Misol. Ko'phadga mos kombinatsiyani kodlashtirish uchun (110101101101),

$\varphi(x) = x^{11} + x^{10} + x^8 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + 1$, dastlab x^{11} ga ko'paytiramiz, keyinchalik, $x^r \varphi(x)$ ni shakllangan polinom $g(x)$ ga bo'lamiz va $R(x)$ qoldiqni topamiz. Bo'lish natijasida quyidagini topamiz:

$R(x) = x^{10} + x^9 + x^8 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2$. Kodli ko'phad $x^r \varphi(x)$ va $R(x)$ ni qo'shish yo'li bilan shakllanadi.

$$x^r \varphi(x) + R(x) = x^{22} + x^{21} + x^{19} + x^{17} + x^{16} + x^{14} + x^{13} + x^{11} + x^{10} + x^9 + x^8 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2$$

Bu ko'phad siklik kod kombinatsiyasiga mos keladi:

110101101101
Axborot qismi

11101111100
tekshiriladigan qism

2-usul: Shakllanadigan $g(x)$ polinomga ko'paytirish

$$F(x) \leq h(x)g(x)$$

Mazkur usul kodli kombinatsiyani $\varphi(x)$ shakllanadigan hosil qiluvchi polinomga ko'paytirishga $g(x)$ asoslangan. Natijada notizimli kodli kombinatsiya olinadi, bunda axborot va tekshiriladigan razryadlarni aniqlash mumkin emas.

Misol. $\varphi(x) = x^{11} + x^{10} + x^8 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + 1$ ko'phadni $g(x) = x^{11} + x^9 + x^7 + x^6 + x^5 + x + 1$ ga ko'paytirish kerak. Ko'paytirish modul 2ga ko'ra qo'shishdan foydalanib amalga oshiriladi. Natijada quyidagini olamiz:

$$\varphi(x)g(x) = x^{22} + x^{21} + x^{20} + x^{18} + x^{16} + x^{15} + x^{14} + x^{13} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + x^2 + x + 1$$

Bu ko'phad siklik kod kombinatsiyasiga mos keladi:

11101011110010111010111.

3-usul: tuzilgan va tekshirilgan matritsadan foydalanish. Bu usul tuziladigan va $g(x)$ tekshiriladigan $H(x)$ matritsalardan foydalanishga asoslangan.

Chiziqli kodlar kabi siklik kod juft matritsalarga beriladi: hosilaviy va tekshirilgan. Hosilaviy matritsa ikkiga bo'linadi: axborot va tekshiriladigan.

Axborot matritsasi k ustun, tekshiriladigan esa n ustunga ega bo'ladi. Axborot matritsasi sifatida birlik matritsani olish qulay. Goley kodining k axborot razryadlari soni 12ga teng, axborot matritsasining o'lchamliligi mos ravishda $E(x)=2*12$ bo'ladi. U quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$E_{12, 12} = \begin{array}{|l} \text{000000000001} \\ \text{000000000010} \\ \text{000000000100} \\ \text{000000001000} \\ \text{000000010000} \\ \text{000000100000} \\ \text{000001000000} \\ \text{000010000000} \\ \text{000100000000} \\ \text{001000000000} \\ \text{010000000000} \\ \text{100000000000} \end{array}$$

$C_{r,k}$ kabi belgilangan tekshiriladigan matritsani tuzish uchun quyidagi usuldan foydalanamiz: faqat yagona birlikdan iborat bo'lgan $Q(x)$ kombinatsiyani tanlaymiz va uni, $g(x)$ polinomga bo'lib, $R(x)$ qoldiqni olamiz, natijada tekshiriladigan matritsa qatori yuzaga keladi.

Birlik vektor 000000000001000000000000 ga teng bo'lib, bunda matritsaning birinchi qatori $C_1(x)$ quyidagi tarzda bo'ladi:

$$\begin{array}{r} \text{0000000000010000000000} \mid \text{101011100011} \\ \text{101011100011} \mid \text{1} \\ \hline \text{01011100011} \end{array}$$

$$C_1(x)=R(x)= 01011100011$$

Shunga o'xshash tarzda birlikni har safar siljitib tekshiriladigan $C(x)$ matritsaning keyingi qatorlarini olamiz. Mazkur operatsiyani $i=1 \square k$ marta o'tkazamiz.

Shunday qilib, tekshiriladigan matritsa quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$C_{11, 12} = \begin{array}{|l} 01011100011 \\ 10111000110 \\ 00101101111 \\ 01011011110 \\ 10110111100 \\ 00110011011 \\ 01100110110 \\ 11001101100 \\ 11000111011 \\ 11010010101 \\ 11111001001 \\ 10101110001 \end{array}$$

Olingan matritsa $C_{11,12}$ birlik matritsaga o'ng tomonda yoziladi $E_{12,12}$ buning natijasida hosilaviy matritsa $G_{23, 12}$ olinadi:

$$G_{23, 12} = \begin{array}{|l} 010111000110000000000001 \\ 101110001100000000000010 \\ 00101101111000000000100 \\ 01011011110000000001000 \\ 10110111100000000010000 \\ 00110011011000000100000 \\ 01100110110000001000000 \\ 11001101100000010000000 \\ 11000111011000100000000 \\ 11010010101001000000000 \\ 11111001001010000000000 \\ 10101110001100000000000 \end{array}$$

Endi istalgan kombinatsiyani kodlashtirish uchun $\varphi(x)$ birga teng bo'lgan ularning razryadlaridan tanlash yetarli va $G_{23,12}$ matritsa qatorlarining tanlangan razryadlariga mos raqamlar bilan modul 2ga ko'ra qo'shish kerak.

Siklik kodlarda, aynan Goley kodlarida kodlashtirish jarayoni r tekshiriladigan razryadlarni aniqlashga qaratilgan. Har bir tekshiriladigan

razryad tekshiriladigan nisbat yordamida aniqlanadi, r tekshiriladigan razryadlarni aniqlash r tekshiriladigan $H_{n,r}$ matritsa nisbatni talab qiladi.

Tekshiriladigan matritsa H tekshirilgan polinom yordamida tuzilishi mumkin:

$$h(x) = \frac{(x^n + 1)}{g^{-1}(x)},$$

bunda $g^{-1}(x)$ - polinom.

$$h(x) = (x^{23} + 1) / (x^{11} + x^9 + x^7 + x^6 + x^5 + x + 1)^{-1} = x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^9 + x^8 + x^5 + x^2 + 1$$

ikkilamchi shaklda: 1111100100101.

H tekshiriladigan matritsaning keyingi qatorlari olingan kombinatsiyani siklik siljitish, tekshiriladigan polinom yordamida olinadi.

Natijada tekshiriladigan matritsa quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

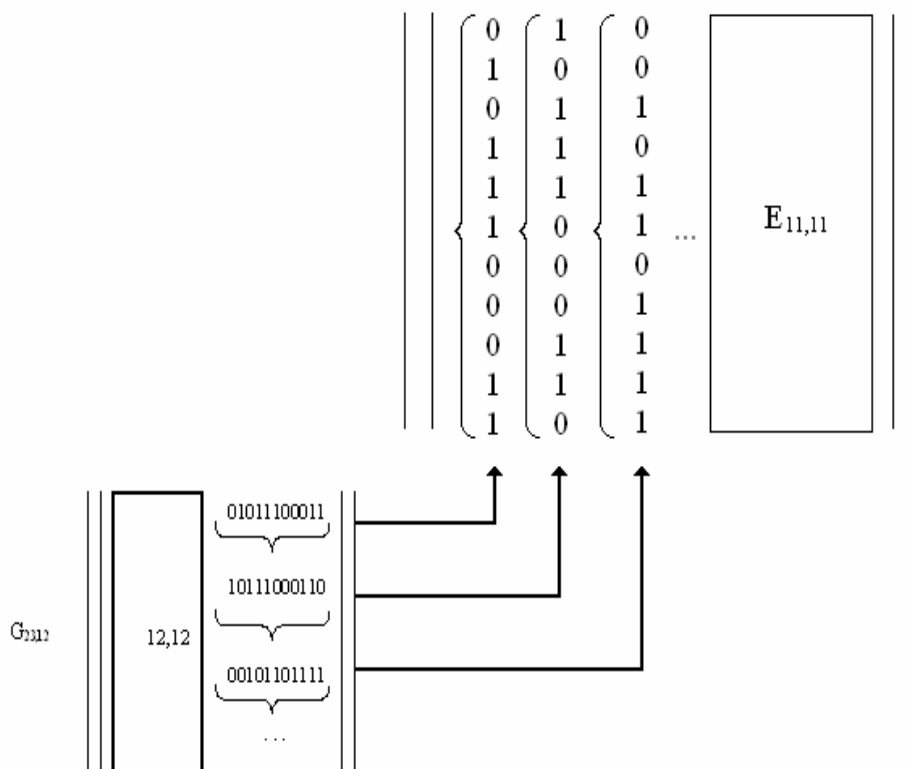
$$h_{23,11} = \begin{array}{|l} 1111100100101000000000 \\ 0111110010010100000000 \\ 0011111001001010000000 \\ 0001111100100101000000 \\ 0000111110010010100000 \\ 0000011111001001010000 \\ 0000001111100100101000 \\ 0000000111110010010100 \\ 0000000011111001001010 \\ 0000000001111100100101 \\ 00000000001111100100101 \end{array}$$

Shuningdek, kanonik shakldagi tekshiriladigan matritsa hosilaviy matritsadan olinishi mumkin. Bunday matritsaning shakllanishi hosilaviy matritsa qatorlarini ustunlarga o‘zgartirish yo‘li bilan amalga oshadi. Tuzish jarayoni 3.5- rasmda strelka bilan ko‘rsatilgan.

$G_{23,12}$ – hosilaviy matritsa;

$E_{12,12}$ – axborot matritsasi;

$H_{23,11}$ – tekshiriladigan matritsa.



3.5-rasm. H tekshiriladigan matritsa shakllanish sxemasi
 Natijada tekshiriladigan matritsa quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$H_{23,11} = \begin{pmatrix}
 0100100111111000000000 \\
 1001001111100100000000 \\
 0110111000110010000000 \\
 1101110001100001000000 \\
 1111000100110000100000 \\
 1010101110010000010000 \\
 00011110110100000010000 \\
 00111101101000000001000 \\
 01111011010000000000100 \\
 11110110100000000000010 \\
 10100100111100000000001
 \end{pmatrix}$$

Tekshiriladigan matritsa odatda kodlashtirish va qayta kodlashtirish qurilmalarida foydalaniladi, u axborot belgisi bo‘yicha tekshiriladigan razryadlar algoritmini topishni belgilaydi.

Misol. H tekshiriladigan matritsa yordamida kombinatsiyadagi tekshiriladigan simvollarni aniqlaymiz: (110101101101). Birinchi

tekshiriladigan matritsani hisoblash uchun tekshiriladigan matritsa dastlabki qatorini olamiz:

$$\begin{aligned}
 B_1 &= a_2 a_5 a_8 a_9 a_{10} a_{11} a_{12} = 1001101 = 0 \\
 B_2 &= a_{11} a_4 a_7 a_8 a_9 a_{10} a_{11} = 1110110 = 1 \\
 B_3 &= a_2 a_3 a_5 a_6 a_7 a_{11} a_{12} = 1001101 = 0 \\
 B_4 &= a_1 a_2 a_4 a_5 a_6 a_{10} a_{11} = 1110110 = 1 \\
 B_5 &= a_1 a_2 a_3 a_4 a_8 a_{11} a_{12} = 1101001 = 0 \\
 B_6 &= a_1 a_3 a_5 a_7 a_8 a_9 a_{12} = 1001011 = 0 \\
 B_7 &= a_4 a_5 a_6 a_7 a_9 a_{10} a_{12} = 1011111 = 0 \\
 B_8 &= a_3 a_4 a_5 a_6 a_8 a_9 a_{11} = 0101010 = 1 \\
 B_9 &= a_2 a_3 a_4 a_5 a_7 a_8 a_{10} = 1010101 = 0 \\
 B_{10} &= a_{11} a_2 a_3 a_4 a_6 a_7 a_9 = 1101111 = 0 \\
 B_{11} &= a_1 a_3 a_6 a_9 a_{10} a_{11} a_{12} = 1011101 = 1
 \end{aligned}$$

Shunday qilib, chiziqli kod kombinatsiyasi quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi: (11010110110101010001001).

Dekoder vazifasi siklik kodning qabul qilingan elementli kombinatsiyasi bo‘ylab tashqi k -elementli kombinatsiyaga o‘zgartirishdir. Bunda siklik kodning samaradorligi uning xatolik kanali bo‘ylab uzatishda paydo bo‘ladigan to‘g‘rilash qobiliyati bilan baholanadi.

Goley kodini qayta kodlashtirish ikkita usul bilan amalga oshishi mumkin:

- Meggit dekoderi bilan;
- Berlekemp-Messi algoritmi asosida.

Meggit dekoderi bilan bir xil ma‘noni aniqlash va uch martalik xatoliklarni tuzatish mumkin, Berlekemp-Messi algoritmi esa faqat ikki martalik xatoliklarni to‘g‘rilaydi. Shuningdek oddiyligi va nisbatan arzonligi hisobiga BChX dekoder bilan taqqoslaganda Meggit dekoderi afzal sanaladi. Shuning uchun hozirgi kunda Goley kodining dekoderi sifatida Meggit dekoderdan foydalaniladi.

Meggit dekoderning ishlash tamoyillari oldingi razryadlarda joylashgan xatolarga asoslangan. Bunda quyidagi shartlar bajarilishi kerak: axborot qismining uzunligi xatolar sindromi uzunligidan katta bo‘lmasligi kerak.

Meggit dekoderi faqat eski razryadlarda joylashgan xatoliklar konfiguratsiyasi uchun sindromlarni tekshiradi. Qolgan pozitsiyalardagi xatoliklarni dekoderlash kodning siklik tuzilmasiga asoslangan va keyinroq amalga oshiriladi. Mos ravishda sindromlar jadvali nol

bo‘lmagan koeffitsientli xatolik ko‘phadiga mos sindromlardan iborat e_{n-i} . Har hisoblangan sindrom bu jadvalda joylashgan bo‘lsa u e_{n-i} tuzatiladi. Keyinchalik qabul qilingan so‘z siklik siljiriladi va ehtimoliy xatolikni topish jarayoni takrorlanadi ($e_{n-i} \neq 0$). Bu jarayon har bir komponentlar uchun ketma-ket takrorlanadi, har bir komponent mavjud xatoliklarda tekshiriladi va agar xatolik topilsa u tuzatiladi.

Goley (23,12)-kodi uchun Meggit dekoderni tavsiflaymiz.

Xatolik vektori uzunligi 23 ga teng, vazni esa 3 dan oshmaydi. Sindrom registr uzunligi 11 ga teng. Agar xatolikning bunday konfiguratsiyasi tebranmasa, u barcha uch xatolik 11 kichik razryadlarda paydo bo‘lishi uchun siklik siljimaydi. Bunday holatda uch xatolik o‘rnidan biri bir tomonda turadi. Har bir tuzatiladigan xatolik konfiguratsiyasi siklik siljish yordamida quyidagi uch shakldan biriga keltirilishi mumkin:

1. Barcha xatoliklar 11 eski razryadda joylashgan;
2. Bir xatolik besh o‘rinni egallaydi, qolganlari 11 eski razryadda joylashadi;
3. Bir xatolik olti o‘rinni egallaydi, boshqalari 11 eski razryadda joylashadi. Shunday qilib dekoderda miqdorni oldindan hisoblash kerak:

$$S^5(x) = R_{g(x)}[x^n V] \text{ va } S^6(x) = R_{6(x)}[x^n V]$$

Bunda xatolik agar vazn 3 dan oshmasa tebranadi. Dekoderda agar bu shartlar bajarilsa barcha uch xatolikni tuzatish mumkin, yoki kichik 11 bitda ikkita xatolik tuzatiladi.

x^{16} va x^{17} ni yasovchi $g(x) = x^{11} + x^{10} + x^6 + x^5 + x^4 + x^2 + 1$ polinomlarga bo‘lib (ikkihad shaklida 01100110110), $S^5(x) = x^9 + x^8 + x^6 + x^4 + x^2 + x$ olamiz, $S^6(x) = x^{10} + x^9 + x^7 + x^6 + x^3 + x^2$ (ikki had shaklida 00110011011). Agar xatolik besh yoki olti o‘rindan iborat bo‘lsa, sindrom mos ravishda (01100110110) yoki (00110011011) ga teng bo‘ladi. 11 katta razryadda ikkita qo‘shimcha xatoliklarning mavjudligi bu bitlardan ikkitasining mos o‘rinlarini qarama qarshisiga o‘zgartiradi.

Dekoder uchta pozitsiyadan ortiq bo‘lmagan nolli sindromdan farqlanuvchi sindromni ko‘rsatadi.

Misol. Kodli so‘z quyidagiga teng bo‘lsin:

$$C(x) = 10101010101001100001011.$$

Belgilarning bir qismini uzatishda buzildi: $V(x) = C(x) + e(x)$. Xatolik

ko'phadi quyidagiga teng: $e(x)=00100000001000000010$. Bunda qabul qilinadigan so'z: $V(x)=1080i010100001100001o5l$, bunda yo'qolgan belgilar (*) bilan aks ettiriladi. Sindromni aniqlaymiz $S(x)=10011000111$.

Dekodlashtirishning ikkinchi bosqichini ko'rib chiqamiz (bunda $r^6(x)=x^6 \bmod g(x)=00110011011$, $r(x)=x \bmod g(x)=01100110110$). Har bir bosqichda a, b, v, g - hisoblanadi. 17-bosqichda vazn $W=2$ va xatoliklarni tuzatish modul 2 bo'ylab bufer qurilmasi yordamida amalga oshiriladi. Bu vaqtda yo'qolgan ikkita belgi n razryadli bufer qurilmasida, uchinchi 6 razryadli buferda topiladi.

Navbatdagi sindromni hisoblash operatsiyasi quyidagi tarzda amalga oshiriladi: sindromning katta razryadlari tahlil qilinadi, agar u birga teng bo'lsa $g(x)$ yasovchi polinom asosida modul 2 bo'yicha sindrom 1 razryad chapga suriladi va aksincha holatda sindromni faqat chapga surish amalga oshiriladi.

Siklik kodlarni kodlash va dekodlash tartibi. Siklik kodlar r darajali tashkil etuvchi polinomlar $P(x)$ yordamida ifoda etiladi. Siklik kodning tashkil etuvchi matritsasini tashkil etuvchi polinomdan uni siklik siljishi (yoxud uni x, x^2, \dots, x^{k-1} larga ko'paytirish) orqali aniqlasa bo'ladi:

$$G = \begin{pmatrix} P(x) \\ xP(x) \\ x^2P(x) \\ \vdots \\ x^{k-1}P(x) \end{pmatrix}$$

Bundan kelib chiqadiki, siklik kodning ruxsat etilgan kombinatsiyalari tashkil etuvchi polinomga qoldiqsiz bo'linadi. Bunday bo'linish modul 2 bo'yicha amalga oshiriladi: bo'lish jarayonida ayirish o'rniga modul 2 bo'yicha qo'shish ishlatiladi: misol uchun, $x^6 + x^5 + x^3 + 1$ polinomni $x^2 + x + 1$ ga bo'lsak (ikkilik sanoq tizimda ko'rinishi 1101001 va 111):

$$\begin{array}{r} \oplus \quad 1101001 \quad | \quad 111 \\ \underline{111} \quad \quad \quad | \quad 10101 \\ \oplus \quad \quad \quad 110 \\ \underline{\quad \quad \quad 111} \\ \oplus \quad \quad \quad 101 \\ \underline{\quad \quad \quad 111} \\ \quad \quad \quad 10 \quad \text{Qoldiq} \end{array}$$

Bu yerda 1101001ni 111ga bo'lganda, 10 qoldiq hosil qilindi.

Har bir ruxsat etilgan kombinatsiya tashkil etuvchi polinomga qoldiqsiz bo'linishi uning turini, ya'ni ruxsat etilgan kombinatsiyaligini belgilaydi.

Siklik kodlarni tuzish asoslarini ko'rib chiqamiz: k -elementli oddiy kodning har bir kodli kombinatsiyasi $G(x)$ ni x^r ga ko'paytiramiz, so'ngra r darajali hosil etuvchi polinomga bo'lamiz. Natijada, $G(x)$ polinomining har bir a'zosi x_i ning darajasi r ga ko'payadi. Hosil bo'lgan ko'paytma $x^r G(x)$ ni $P(x)$ ga bo'lganda, $Q(x)$ bo'linma darajasi $G(x)$ darajasidek bo'ladi. Bundan tashqari, $x^r G(x)$ ko'paytmasi $P(x)$ ga bo'linganda, butun son hosil bo'lmasa, $R(x)$ qoldiq paydo bo'ladi:

$$\frac{x^r G(x)}{P(x)} = Q(x) \oplus \frac{R(x)}{P(x)}$$

$Q(x)$ bo'linma darajasi $G(x)$ darajasidek bo'lganligi sababli, u ham k -elementli kodning kombinatsiyai bo'ladi.

Yuqorida ko'rsatilgan tenglamani ikkala qismini $P(x)$ ga ko'paytirganda:

$$F(x) = Q(x)P(x) = x^r G(x) \oplus R(x) \text{ ko'rinish hosil bo'ladi.}$$

Shunday qilib, siklik kodning kodli kombinatsiyasi ikkita yo'l bilan hosil qilinishi mumkin:

– oddiy kodning k -elementli kombinatsiyasini hosil etuvchi polinom $P(x)$ ga ko'paytirish yordamida;

– oddiy kodning kodli kombinatsiyasini x^r ga ko'paytirib, ko'paytmaga $x^r G(x)$ ni $P(x)$ ga bo'linganligidagi qoldiq ko'shilishi yordamida.

Birinchi usulda bo'linmas kod hosil bo'lganligi va bu holat kodlash jarayonini murakkablashtirganligi sababli, amaliyotda ikkinchi usul qo'llaniladi. Ikkinchi usul yordamida tashkil etuvchi matritsa quyidagicha hosil bo'ladi:

$$G = \left\| E_k ; C_{r;k} \right\| ,$$

bunda $C_{r;k}$ - r ustunlar va k qatorlardan iborat matritsa.

Siklik kodlarni kodlash va dekodlash jarayoni hosil etuvchi polinomga bo‘lish orqali amalga oshiriladi. Bundan tashqari, tekshiruv matritsa quyidagi tekshiruv polinom asosida aniqlanishi mumkin:

$$h(x) = \frac{x^n + 1}{P^{-1}(x)}$$

bunda $P^{-1}(x)$ - hosil etuvchi $P(x)$ polinomi bilan bog‘liq polinom (unda razryadlar ketma-ketligi teskari bo‘ldi, masalan, 100111 va 111001). Siklik kodning tekshiruv matritsasining birinchi qatori tekshiruv polinom $h(x)$ dan uni x^{r-1} ga qo‘paytirish orqali hosil qilinadi. Keyingi qatorlar birinchi qatorni siklik siljishi orqali aniqlanadi.

7 razryadli $d_0 = 3$ ga teng siklik kodni tuzish misolini keltiramiz: bunda uchta tekshiruv razryadlari ($r = 3$) hosil etuvchi polinomning darajasini aniqlaydi. Hosil etuvchi polinom $P(x) = x^3 + x + 1 = 1011$ bo‘lsa, hosil etuvchi matritsa quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$G = \begin{pmatrix} 1000101 \\ 0100111 \\ 0010110 \\ 0001011 \end{pmatrix}$$

Tekshiruv razryadlar (101) 1000000 kombinatsiyani 1011 hosil etuvchi polinom (1011)ga bo‘lgandan hosil bo‘ldi.

Tekshiruv polinom:

$$h(x) = \frac{x^7 + 1}{(x^3 + x + 1)^{-1}} = \frac{10000001}{1101} = 11101$$

teng va tekshiruv matritsa:

$$H = \begin{pmatrix} 1110100 \\ 0111010 \\ 1101001 \end{pmatrix}$$

Siklik kodning xatoliklarni to'g'irlash hususiyatlari hosil etuvchi polinomga bog'liq bo'ladi. Ba'zi siklik kodlar uchun hosil etuvchi polinomni tanlash asosini keltiramiz:

Siklik kodda $d_0 = 2$ bo'lsin. Hosil etuvchi polinom $x+1$ va u yordamida ixtiyoriy uzunlikka ega kodni hosil qilsa bo'ladi. $d_0 = 2$ ga teng siklik kod toq sonli xatoliklarni aniqlashi mumkin.

Bu kod uchun hosil etuvchi polinom sifatida $x^2 + x + 1$ ham bo'lishi mumkin, bu holda kod yuqori shovqinbardosh xususiyatlarga ega bo'ladi.

Siklik kodda $d_0 = 3$ bo'lsin. (Xemming kodlari turi). Kodli kombinatsiya uzunligi $n = 2^r - 1$. Bu kod uchun hosil etuvchi polinomlar 3.1- jadvalda keltirilgan.

3.1- jadval

Hosil etuvchi polinomlar

Polinom darajasi	Polinom ko'rinishi
1	$x+1$
2	x^2+x+1
3	x^3+x+1 x^3+x^2+1
4	x^4+x+1 x^4+x^3+1 $x^4+x^3+x^2+x+1$
5	x^5+x^2+1 x^5+x^3+1 $x^5+x^3+x^2+x+1$ $x^5+x^4+x^3+x+1$ $x^5+x^4+x^3+x^2+1$

Siklik kodda $d_0 = 4$ bo'lsin. (Xemming kodlari turi) $d_0 = 4$ ga teng kodlar $d_0 = 3$ ga teng kodlar asosidagi hosil etuvchi polinom orqali tuziladi. $d_0 = 4$ kodni hosil etuvchi polinomni tuzish uchun $(x+1)$ ni $d_0 = 3$ ga oid biron-bir polinomga ko'paytiriladi. Kodli kombinatsiya uzunligi $n = 2^m - 1$, tekshiruv razryadlar soni $r = m + 1$.

Misol uchun, $n = 7$ ga teng bo'lsa, hosil etuvchi polinom $(x+1)(x^3 + x + 1) = x^4 + x^3 + x^2 + 1$ teng bo'ladi.

Siklik kodlar ma'lumot uzatish tizimlarida keng tarqalgan bo'lib, xususiyatlari orqali ishlatiladigan kodlarda aniqlikni oshirish vositasidir.

Xatolarni aniqlash va to'g'irlash usullarini o'rganishga oid amaliy misollar. Shovqinbardosh kodlar parametrlarini hisoblash

quyidagi tartibda olib boriladi. Berilgan ma'lumotlarni ikkilik sistemasi bo'yicha raqamliga aylantiramiz.

$$N = (13)_{10} = (1101)_2$$

Demak, axborotning ko'rinishi quyidagicha bo'ladi: $G(x)=1101$ va $F(x) = G(x) * x^r + R(x)$ - axborotni shovqinbardosh kod bilan kodlashgan ko'rinishi.

Ushbu axborotni kodlash uchun tekshirish elementi va tashkil etuvchi polinom tanlanadi. Tekshirish elementining soni quyidagi formula orqali topiladi:

$$r > \log_2(n+1) \quad \text{yoki} \quad 2^r > n+1, \quad 2^r > k+r+1$$

Bu yerda $k=4$ ga, $2^r > 4+1$ u holda $r=3$. Tashkil etuvchi polinom $P(x)=x^3+x+1$ (1011) tanlaymiz. Axborotni kodlash uchun birinchi navbatda uning qoldiqini topamiz:

$$G(x) * x^r = (x^3 + x^2 + 1) * x^3 = x^6 + x^5 + x^3$$

$$\begin{array}{r}
 \oplus \quad \begin{array}{r} \underline{x^6 + x^5 + x^3} \\ \underline{x^6 + x^4 + x^3} \\ \hline x^5 + x^4 \end{array} \quad \left| \begin{array}{r} \underline{x^3 + x + 1} \\ \hline x^3 + x^2 + x + 1 \end{array} \\
 \oplus \quad \begin{array}{r} \underline{x^5 + x^4} \\ \underline{x^5 + x^3 + x^2} \\ \hline x^4 + x^3 + x^2 \end{array} \\
 \oplus \quad \begin{array}{r} \underline{x^4 + x^3 + x^2} \\ \underline{x^4 + x^2 + x} \\ \hline x^3 + x \end{array} \\
 \oplus \quad \begin{array}{r} \underline{x^3 + x} \\ \underline{x^3 + x + 1} \\ \hline R(x) = 1 \end{array}
 \end{array}$$

Axborotni siklik kodlar orqali kodlash quyidagicha amalga oshiriladi:

$$F(x) = G(x) * x^r + R(x) = x^6 + x^5 + x^3 + 1$$

Hosil bo'lgan siklik kodlar to'g'ri yoki noto'g'riligi quyidagicha tekshiriladi: $F(x)/P(x)$, bo'linish natijasida qoldiq qolmasa hosil qilingan siklik kodlar to'g'ri hosil etilgan bo'ladi, aks holda qoldiq qolsa, noto'g'ri hosil etilgan bo'ladi. Tekshirib ko'ramiz:

$$\begin{array}{r}
\oplus \frac{x^6 + x^5 + x^3 + 1}{x^6 + x^4 + x^3} \quad \left| \frac{x^3 + x + 1}{x^3 + x^2 + x + 1} \right. \\
\oplus \frac{x^5 + x^4 + 1}{x^5 + x^3 + x^2} \\
\oplus \frac{x^4 + x^3 + x^2 + 1}{x^4 + x^2 + x} \\
\oplus \frac{x^3 + x + 1}{x^3 + x + 1} \\
\hline
R(x) = 0
\end{array}$$

Hosil etilgan kodli kombinatsiya ruxsat etilgan kodli kombinatsiya turiga kirgan bo'lib qoldiq nolga teng.

Kodli kombinatsiyada xatolikni aniqlash quyidagicha amalga oshiriladi:

$$\begin{array}{r}
F(x) = x^6 + x^5 + 1 \\
\oplus \frac{x^6 + x^5 + 1}{x^6 + x^4 + x^3} \quad \left| \frac{x^3 + x + 1}{x^3 + x^2 + x + 1} \right. \\
\oplus \frac{x^5 + x^4 + x^3 + 1}{x^5 + x^3 + x^2} \\
\oplus \frac{x^4 + x^2 + 1}{x^4 + x^2 + x} \\
\hline
x + 1 \\
R(x) = x + 1
\end{array}$$

Yuqorida keltirilgan kodli kombinatsiyada xatolik mavjud, chunki hosil etilgan kodli kombinatsiyani hosil qiluvchi polinomga bo'lganda $x+1$ qoldiq qoldi. Kodli kombinatsiyada xatolikni topish uchun ikki usuldan foydalanamiz. Birinchi usul qoldiqni taqqoslash yo'li bilan, ikkinchi usul xatolik sindromi bilan taqqoslashdan iboratdir.

Birinchi usul. Yuqori razryadda xatolik mavjud deb taxmin qilinadi va yuqori razryad hosil qiluvchi polinomga bo'linadi. Qoldiq etalon qoldiq deb hisoblanadi - $Re(x)$. Etalon qoldiq axborotlarni uzatishda hosil bo'lgan xatolik natijasida, kodli kombinatsiyani hosil qiluvchi polinomga bo'lish

natijasida hosil boʻlgan qoldiq bilan taqqoslanadi $R(x) = Re(x)$. Qoldiqlar teng boʻlsa xatolik yuqori 1 razryadda hosil boʻlgan boʻladi.

$$\begin{array}{r}
 \textcircled{+} \begin{array}{l} \underline{x^6} \\ x^6 + x^4 + x^3 \end{array} \Bigg| \begin{array}{l} x^3 + x + 1 \\ \underline{x^3 + x + 1} \end{array} \\
 \textcircled{+} \begin{array}{l} \underline{x^4 + x^3} \\ x^4 + x^2 + x \end{array} \\
 \textcircled{+} \begin{array}{l} \underline{x^3 + x^2 + x} \\ x^3 + x + 1 \end{array} \\
 \underline{x^2 + 1}
 \end{array}$$

$Re(x) = x^2 + 1$ ga teng.

Razryad nomeri	Qoldiq
1 yuqori element	101
2 element	111
3 element	110
4 element	011
5 element	100
6 element	010
7 element	001

3.2 va 3.3-jadvallarda mustaqil ishlash uchun topshiriqlar berilgan.

3.2-jadval

Guruh	Ma'lumotlarni kodlash	Elementlardagi xatoliklar	To'g'irlash uslubi
1	$N = (21)_{10}$	1	Taqqoslash
2	$N = (121)_{10}$	3	Sindrom
3	$N = (721)_{10}$	2	Sindrom
4	$N = (1221)_{10}$	3	Taqqoslash
5	$N = (34521)_{10}$	4	Taqqoslash
6	$N = (2451)_{10}$	2	Sindrom
7	$N = (2341)_{10}$	3	Sindrom
8	$N = (28821)_{10}$	4	Sindrom

3.2-jadval davomi

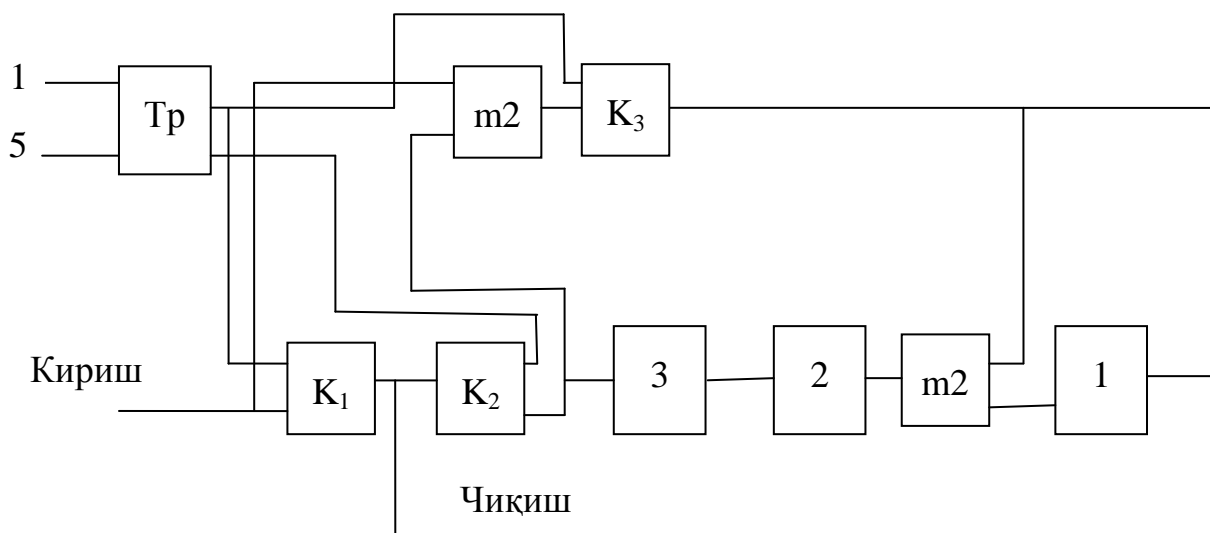
9	$N = (333321)_{10}$	6	Taqqoslash
10	$N = (34521)_{10}$	7	Taqqoslash
11	$N = (56721)_{10}$	8	Sindrom
12	$N = (45621)_{10}$	5	Sindrom
13	$N = (421)_{10}$	2	Taqqoslash
14	$N = (6721)_{10}$	3	Taqqoslash
15	$N = (5721)_{10}$	5	Sindrom
16	$N = (4521)_{10}$	3	Taqqoslash

3.3-jadval

Mustaqil ishlash uchun topshiriqlar

Berilgan Qiymatlar	Talabalik guvohnomasidagi oxirgi raqam									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
K	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Berilgan qiymatlar	Talabalik guvohnomasidagi oxirgi raqamdan bitta oldingisi									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R	4	8	4	6	8	2	2	4	6	8

Siklik kodlarni koder va dekoder qurilmalarini qurish. Siklik kodlarning (7.4) kodi bo'yicha koder va dekoderni ishlash prinsipini ko'rib chiqamiz. Buning uchun (7.4) kodi jadvaldan hosil qiluvchi polinomni tanlaymiz. Misol uchun $P(x) = x^3 + x + 1 = 1011$. Ushbu hosil qiluvchi polinom uchun koder qurilmasining prinsipial sxemasi quyidagidan iborat bo'ladi (3.6-rasm). Ma'lumotlarni uzatish elementlari $G(x) = X^3 + 1 = 1001$ bo'lsin. Bu yerda K_1, K_2, K_3 kalit vazifalarini bajaradi. Trigger orqali 1 taktdan 5 taktgacha K_1, K_3 ochiq holatda, K_2 – esa yopiq xoldatda bo'ladi, 5-taktdan boshlab K_1, K_3 yopiq holatda, K_2 – esa ochiq xoldatda bo'ladi. Ma'lumotlarni uzatish elementlari $G(x) = x^3 + 1 = 1001$ bo'lsin.



3.6 - rasm. Koder kurilmasining sxemasi

U holda 7 ta takt orasida koder qurilmasining chiqish qismida 7 elementdan iborat (4ta ma'lumotli, 3ta tekshirish elementlar) kodli kombinatsiya hosil bo'ladi. Tekshirish elementlari 5-7 taktlarda koder qurilmasining yacheykalarida hosil bo'lgan 1 yoki 0 larni K_2 kaliti orqali aloqa kanaliga uzatadi. Koder qurilmasining chiqish qismida quyidagi elementlar hosil bo'ladi – 1001110. Koderning ishlash prinsipi quyidagi 3.4-jadvalda keltirilgan.

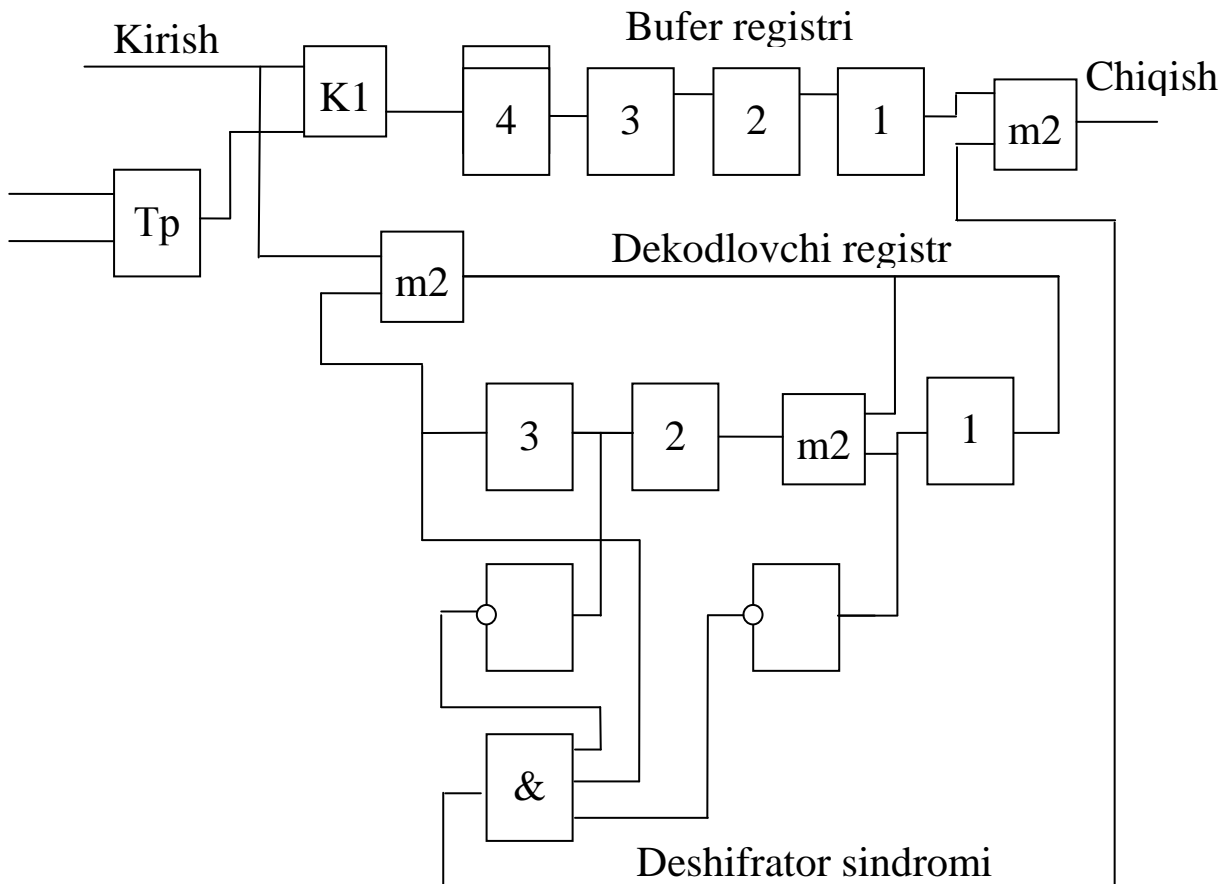
3.4-jadval

Koderning ishlash prinsipi

Taktlar	Ma'lumotlar		Koderdagi yacheykalarni holati		
	Kirishda	Chiqishda	3	2	1
1	1	1	0	1	1
2	0	0	1	1	0
3	0	0	1	1	1
4	1	1	1	1	0
5		1	1	0	
6		1	0		
7		0			

Dekoder qurilmasini ishlash prinsipini ko'rib chiqamiz. Dekoder qurilmasining prinsipial sxemasi quyidagidan iborat bo'lsin. Bu yerda K_1 orqali aloqa kanalidan kelayotgan kodli kombinatsiyaning 4 ta ma'lumotli elementi koder qurilmasiga va xotira registrlariga, tekshirish elementlari esa faqatgina dekoder qurilmasiga tushishini

ta'minlaydi. Dekoder qurilmasida qolgan qoldiqlarga qarab ma'lumotlar elementidagi xatoliklar tuzatilish sxemasi 3.7-rasmda keltirilgan.



3.7 - rasm. Dekoder qurilmasining sxemasi

Dekoder qurilmasining ishlash prinsiplari 3.5-jadvalda keltirilgan.

3.5-jadval

Dekoder qurilmasining ishlash prinsiplari

Taktlar	Dekoderni ng kirishidagi elementlar	Dekoder yacheykalarini ng holati			To'g'irlagi ch-ning kirish qismidagi ma'lumot	To'g'irlagic h-ning chiqish qismidagi ma'lumot	Dekoder ni chiqish qismida
		1	2	3			
1	1	1	1	0		0	
2	0	0	1	1	110	0	
3	0	0	0	1	011	0	
4	1	0	0	0	001	0	
5	1	1	1	0	000	0	
6	1	1	0	1	110	0	
7	0	1	0	0	101	0	

8		0	1	0	101	0	1
9		0	0	1	010	0	0
10		0	1	0	001	1	0
11		1	0	0		0	1

Mustaqil ishlash uchun topshiriqlar

Guruh	Ma'lumotlarni kodlash va dekodlash
1	$N = (21)_{10}$
2	$N = (121)_{10}$
3	$N = (721)_{10}$
4	$N = (1221)_{10}$
5	$N = (34521)_{10}$
6	$N = (2451)_{10}$
7	$N = (2341)_{10}$
8	$N = (28821)_{10}$
9	$N = (333321)_{10}$
10	$N = (34521)_{10}$
11	$N = (56721)_{10}$
12	$N = (45621)_{10}$
13	$N = (421)_{10}$
14	$N = (6721)_{10}$
15	$N = (5721)_{10}$
16	$N = (4521)_{10}$

Goley kodi. $d_0=3$, $r=\log_2(n+1)$ uchun r tekshiruv razryadlarini miqdorini aniqlash formulasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$G_n^0 + G_n^1 + \dots + G_n^{t_{r,x,m}} \cdot 2^r$$

bu yerda: $t_{r,x,m}$ -to'g'rilangan xatolar miqdori.

$$G_{23}^0 + G_{23}^1 + \dots + G_{23}^{11_{r,x,m}} \cdot 2^{11}$$

ekanligini Goley aniqlagan.

Bunda $n = 21$, $r = 11$, $k = n - r = 12$ va $d_0=7$, hamma kombinatsiyadagi uch va undan kamroq xatolarni to'g'irlovchi parametrli ikkilik kodlari mavjud bo'lishi mumkinligi haqida aytadi.

(n,k) , $(23,12)$ optimal kodning yaratilishi Goleyga tegishli. Goley kodi siklik kodlarning bir ko‘rinishi hisoblanar ekan, unga oddiy kodning $G(x)$ kodli kombinatsiyani x^r bixadga ko‘paytirish va bu ko‘paytmaga $G(x) x^r$ ko‘paytmasini $R(x)$ ga bo‘lishdagi qoldiqni qo‘shish orqali kodlash metodi qo‘llanilgan:

$$\frac{x^r G(x)}{P(x)} = Q(x) \oplus \frac{R(x)}{P(x)}$$

Bu tenglikni o‘zgartirish orqali: $F(x) = x^r G(x) + R(x)$ ni olamiz, bu yerda $G(x)$ - oddiy k - elementli kodning kodli kombinatsiyasi; r - hosil bo‘luvchi polinomning darajasi.

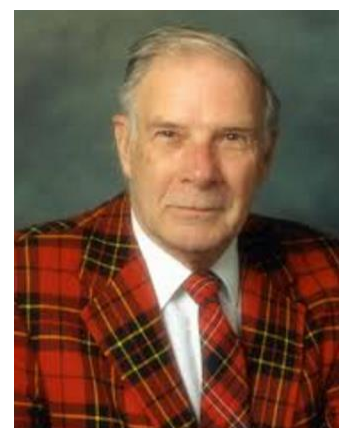
Xemming kodi. Xemming kodi bir marotaba xatolarni to‘g‘irlash uchun yaratilgan bo‘lib u $d_{min} = 3$ kod masofasiga ega. Xemming kodning n va k qiymatlari $2^{n-k} - 1 = n$ nisbati bilan bog‘liq. N tekshiruv matritsasi qatorlari o‘zi bilan turli xil uzunlikdagi $(n-k)$ nollarning ketma-ketligini ifodalaydi.

Dastlab (50-yillarda) tekshiruv elementlarning hosil qilish formulasi shunday tanlanganki, qabul qilinayotganda nazorat qilinadigan elementlarning yig‘indi natijasi buzilgan elementni ketma-ketlik raqamini ko‘rsatishi kerak. a_i – axborot belgilari axborot simvollari, b_i – nazorat belgilari bo‘lsin. Agar tekshiruv belgilari kodli kombinatsiyalarda joylashtirilsa, raqamlar qaysi ikkilikning darajasi hisoblansa (1, 2, 4, 8 va boshqalar.), unda qabul qilingan ikkilik shaklidagi sindrom shovqinli elementning raqamini ko‘rsatadi.

Richard Uesli Xemming – 1915 yil 11 fevralda AQShning Chikago shtatida tug‘ilgan.

Unvonlari: Tyuring mukofoti, Emanuelya Piora mukofoti.

Richard Uesli Xemming - amerikalik matematik, telekommunikatsiya va kompyuter sohasida axborot nazariyasi bo‘yicha ish olib borgan. Fanga qo‘shgan asosiy xissasi – Xemming kodi. 1998 yil 7 yanvar AQShning Kaliforniya shtatida vafot etgan.



Richard Uesli
Xemming
1915-1998

Nazorat savollari:

1. Siklik kodlarga qanday kodlar kiradi?
2. Siklik siljish qanday amalga oshiriladi?
3. Goley kodida nechta usul qo‘llaniladi?
4. Goley kodida kodlashtirish nechta usul bilan amalga oshiriladi?
5. Meggit dekoderiga tushuncha bering?
6. Siklik kodlarni kodlash va dekodlash tartibi qanday?
7. Siklik kodlarni koder va dekoder qurilmalarini qurish qanday amalga oshiriladi?
8. Xemming kodiga tushuncha bering?

3.4. O‘rama kodlar

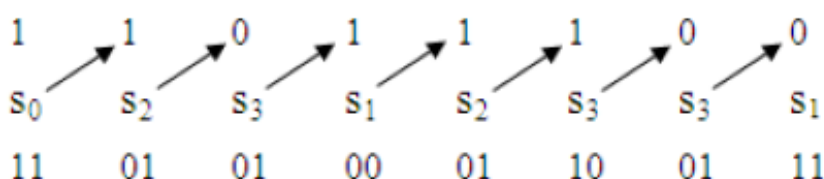
O‘rama kodlar (Rekurrent kodlar) uzluksiz kodlarga mansub bo‘lib, bloklarga ajralmaydi. Bunda kod simvollarini kodlash va dekodlash amallari uzluksiz bajariladi. Bunday kodlar shovqinbardosh kodlashning keng tarqalgan xili hisoblanadi. Ular:

- simsiz aloqa protokollarida;
- raqamli yer usti va yer yo‘ldoshi aloqa tizimlarida;
- kosmos bilan aloqa tizimlarida qo‘llaniladi.

Ushbu kodlarning ishlash prinsipini avtomatlar nazariyasiga asoslanganini 4 holatli va ikkilik ketma-ketlikda ishlovchi avtomat misolida ko‘ramiz.

Quyidagi o‘tish jadvaliga binoan $A = 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 0$ kirish yo‘li ketma – ketligiga mos avtomat chiqish yo‘li signalini aniqlaymiz.

	f		g	
	0	1	0	1
S_0	S_0	S_2	00	11
S_1	S_0	S_2	11	00
S_2	S_1	S_3	10	01
S_3	S_1	S_3	01	10

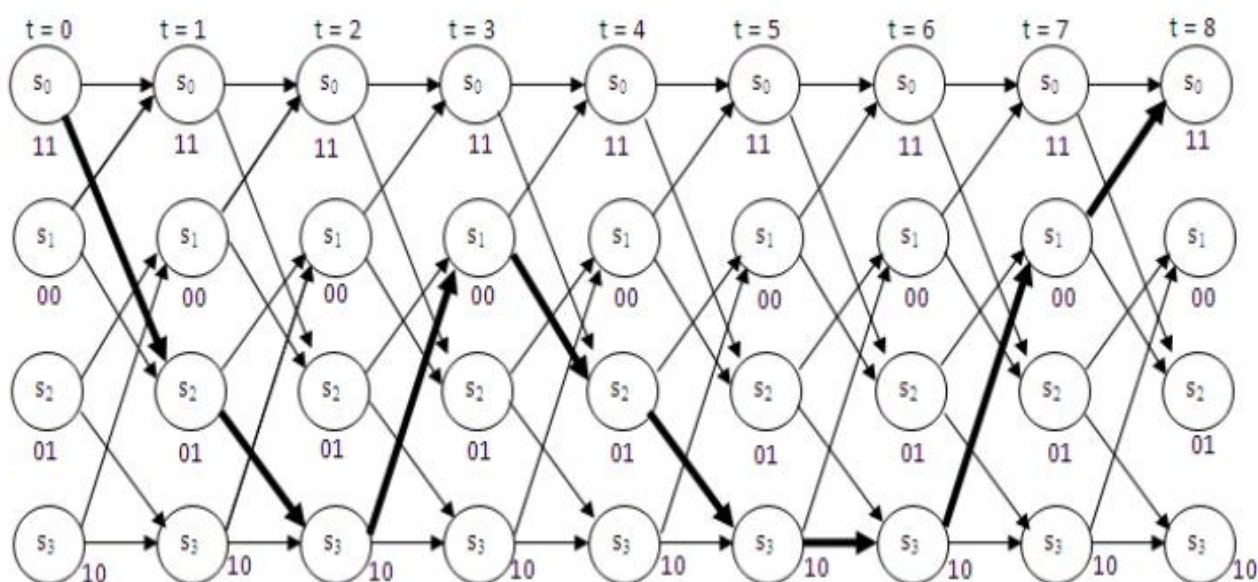


Demak avtomat chiqish yo‘lida quyidagi signal shakllanadi:

11, 01, 01, 00, 01, 10, 01, 11

Avtomat ishlashini yoyilgan panjara diagramma – (Trellis diagrammasi) yordamida tavsiflash qulay hisoblanadi.

Dastlabki avtomat S_0 holatida deb faraz qilinganligi sababli har qanday yo‘l trellisning chapki yuqori burchagidan boshlanadi. Har bir qadamda diagramma bo‘yicha yo‘l ikki yo‘nalishni qabul qilishi mumkin. Agar axborot ketma – ketligining navbatdagi simvoli 0 qiymatini olsa, avtomat yuqori yo‘lni tanlaydi. Agar simvol 1 ga teng bo‘lsa avtomat pastki yo‘lni tanlaydi. Avtomatning chiqish yo‘li kodi ketma – ketligi tanlangan yo‘l yoyi salmog‘iga teng. Yuqoridagi avtomat chiqish yo‘lida shakllangan kod ketma – ketligi uchun trellis diagrammasi tuzilishi 3.8-rasmda keltirilgan:



3.8-rasm. Avtomat chiqish yo‘lida shakllangan kod ketma – ketligi uchun trellis diagrammasining tuzilishi

Olingan kod ketma – ketligini dekodlash teskari tartibda amalga oshiriladi.

Trellisning har bir tuguni ikkita – yuqori va pastki yoylarga ega. Agar berilgan tugun uchun ajratilgan yo‘l yuqori yoy orqali o‘tsa axborot signali 0 qiymatini oladi. Agar berilgan tugun uchun ajratilgan yo‘l pastki yoy orqali o‘tsa axborot signali 1 qiymatini oladi.

Bizning misolimizda dastlabki axborot ketma – ketlik quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$A = 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 0.$$

Olingan har qanday kod ketma – ketligi uchun trellisda yo‘lni chizish mumkin emas. Masalan, 11, 11, 11 yoki 01, 01, 01 kombinatsiyalar uchun yo‘llar mavjud emas. Xuddi shunday 01 yoki 10 dan boshlanuvchi kod kombinatsiyalari ham mavjud emas. Bunday juftliklar xatolik borligini ko‘rsatadi.

Ikkilik kod kombinatsiyasi shovqinli kanallar orqali uzatilganida biror bir bitning teskarisiga o‘zgarishi kod kombinatsiyasining buzilishiga olib keladi. Ma’lumki, xabarlar orasidagi masofa farqlanuvchi xonalar soni sifatida aniqlanadi. Shuning uchun uzatiladigan kod kombinatsiyasidagi har bir xatolik uning dastlabki qiymatidan masofasini orttiradi.

Buzilgan kod kombinatsiyasi, mos holda, trellisdagi yo‘lning buzilishiga olib keladi. Ba’zi hollarda, yo‘lning bo‘lmasligi ham mumkin.

Xatolikni tuzatish masalasi – olingan kod kombinatsiyasi uchun bo‘lishi mumkin bo‘lgan yo‘llar to‘plamini olish va ular orasidagi shunday yo‘lni tanlash kerakki, bu yo‘l olingan kod kombinatsiyasidan minimal masofaga ega bo‘lsin.

Misol. Uzatiladigan axborot xabar quyidagi ko‘rinishga ega:

$$A = (1010)$$

Bu xabarga quyidagi kod kombinatsiyasi mos keladi:

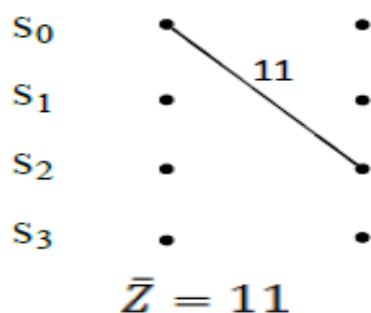
$$Z = (11, 10, 00, 10)$$

Aytaylik, uzatiladigan kombinatsiyada xatolik sodir bo‘ldi:

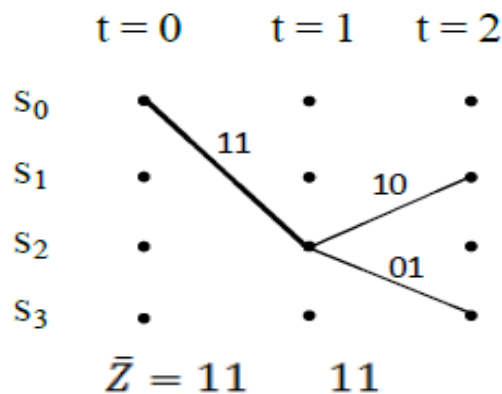
$$\bar{Z} = (11, 11, 00, 10)$$

Axborot ketma – ketlikni tiklash lozim:

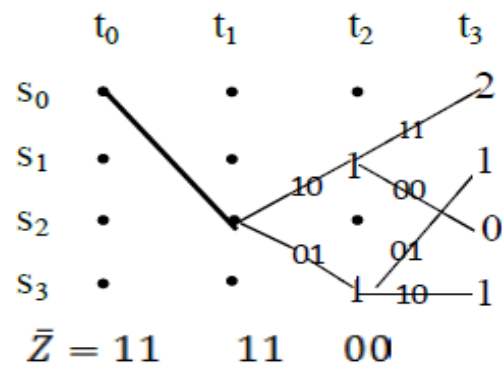
Yechish. $t=0, t = 1$



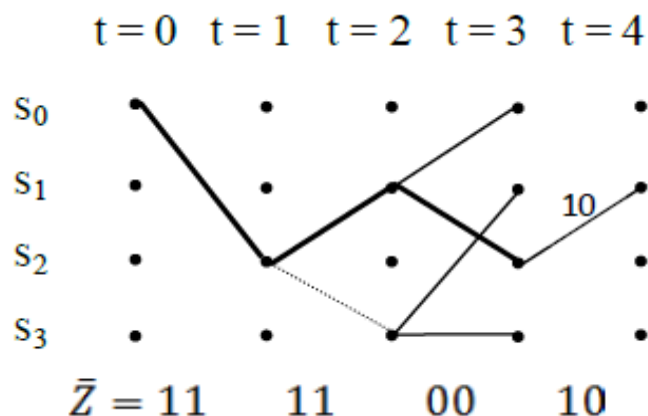
Trellisning S_0 ($t=0$) tugunidan boshlab olingan kod kombinatsiyasiga mos yoyni tanlaymiz. Birinchi juft simvol 11. Trellisda bu S_0 dan chiquvchi pastki yoyga mos keladi. Demak, S_2 tugunga keldik.



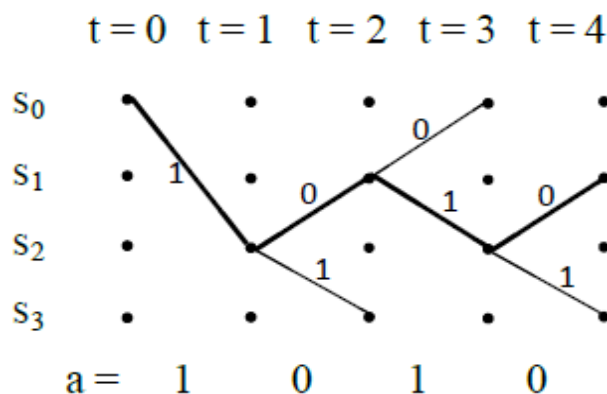
Ikkinchi qadamda trellisning S_2 ($t=1$) tugunidan \bar{Z} ning ikkinchi juftiga mos keluvchi 11 salmoqli yoyni tanlashimiz lozim. Bunday salmoqli yoy bo‘lmaganligi sababli, ikkita variantni ko‘ramiz. Yuqori yoy uchun 10 salmoq mos keladi. 10 va 11 orasidagi masofani S_1 ($t=2$) tugunga yozamiz. Pastki yoy uchun 01 salmoq mos keladi. 01 va 11 orasidagi masofani S_3 ($t=2$) tugunga yozamiz.



Qabul qilingan kombinatsiyaning uchinchi jufti 00. Uchinchi qadamda ikkita marshrut mavjud. S_1 ($t=2$) tugundan 11 va 00 salmoqlarga ega bo‘lgan ikkita yoy chiqadi. Ular va qabul qilingan qiymatlar orasidagi masofalarni mos tugunlarga yozamiz. S_3 ($t=2$) tugundan ham 01 va 10 salmoqlarga ega bo‘lgan ikkita yoy chiqadi. Ular va qabul qilingan qiymatlar orasidagi masofa S_1 va S_0 tugunlarga yozamiz.



To‘rtinchi qadamda maksimal salmoqqa ega bo‘lgan tugunlarni tashlab yuborish lozim. Chunki ular uzatiladigan ketma – ketlikdan ko‘proq farqlanuvchi ketma – ketlikka mos keladi. Keyingi yo‘l uchun faqat S_2 tugunini qoldiramiz. Qabul qilingan kombinatsiyaning to‘rtinchi jufti 10. Trellisning $S_2 (t=3)$ tugunidan 10 salmoqli yuqori yoy chiqadi va ushbu yoy orqali S_1 tugunga o‘tamiz.



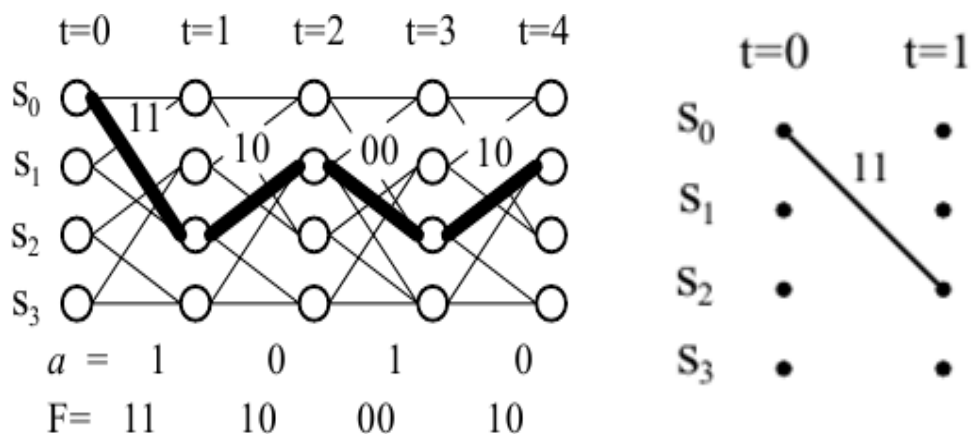
Oxirida masofalar yig‘indisi minimal bo‘lgan tugunlardan o‘tuvchi yo‘lni aniqlash lozim. Har bir qadamda yuqori yoyga 0 qiymati, pastki yoyga 1 qiymati beriladi. Dekodlangan axborotni ketma – ketligi quyidagi ko‘rinishga ega: $A = (1010)$.

Xatoliklarni o‘rama kod bilan tuzatish. Yuqorida ko‘rsatilganidek, har bir kodli kombinatsiyaga trellisdagi (trellis - tizimning holatlarini bitta qadamda o‘zgarishi sxemasi) o‘z yo‘li mos keladi. Lekin teskarisi to‘g‘ri bo‘lmaydi. Istalgan olingan ketma-ketlik uchun ham trellisda yo‘lni chizib bo‘lavermaydi. Masalan, $F=(11,11,11)$ yoki $F=(01, 01, 01)$ kabi kombinatsiyalar uchun yo‘llar mavjud emas. Shuningdek 01 yoki 10 dan boshlanadigan kodli kombinatsiyalar ham mavjud bo‘lmaydi. F dagi bunday juftliklarning bo‘lishi xatoliklarning

borligini bildiradi. Ma'lumotlarni kanal bo'yicha uzatilishida halaqitlar bilan ikkilik kodli ketma-ketliklarning buzilishi qandaydir bitning qiymatini qarama-qarshisiga o'zgarishidan iborat. Agar ma'lumotlar bloklar bilan kodlansa, u holda blokda xatoliklar soni qabul qilingan va dastlabki so'zlar orasidagi mos kelmasliklar soniga teng bo'ladi. Eslatamizki, xabarlar orasidagi masofa mos kelmaydigan razryadlar soni sifatida aniqlanadi. Shuning uchun uzatiladigan kodli kombinatsiyadagi har bir xatolik dastlabki qiymatdan uning masofasini oshiradi. Mos ravishda yangi, buzilgan kodli kombinatsiya buzilgan trellis yo'liga ega bo'ladi. Ayrim vaziyatlarda esa yo'l bo'lmasligi ham mumkin. Xatoliklarni tuzatish masalasi F uchun bo'lishi mumkin yo'llar to'plamini qurilishi va ular orasidan olingan F kodli kombinatsiya bilan minimal masofaga ega bo'lgan yo'lni tanlashdan iborat.

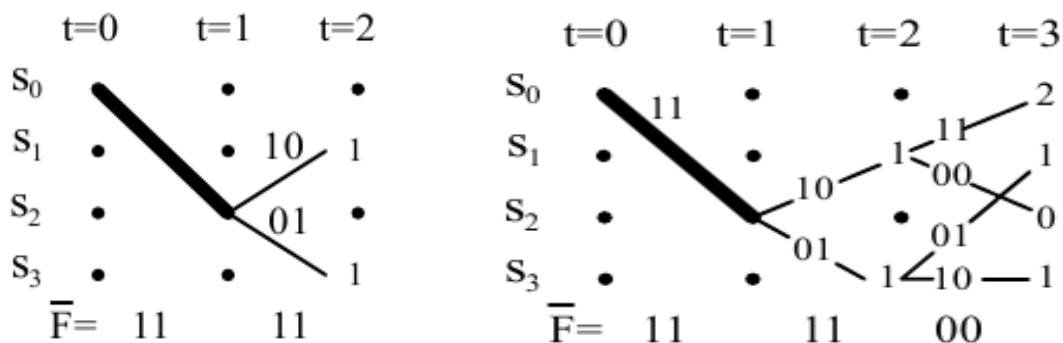
1-misol. Uzatiladigan axborot xabari quyidagi ko'rinishga ega bo'lsin: $a=(1010)$. Bu xabarga quyidagi kodli kombinatsiya mos keladi: $F = (11,10, 00, 01)$. Uzatiladigan kodli kombinatsiyada $\overline{F(x)}$ $= (11,11,00,10)$ xatolik vujudga kelsin. Axborot ketma-ketligini qayta tiklash zarur.

Yechish. *Birinchi qadamda* Trellisning $S_0(t=0)$ tugunidan boshlab biz olingan $\overline{F(x)}$ kodli kombinatsiya mos vaznli qirrani tanlaymiz. Birinchi simvollar juftligi uchun biz 11 qiymatga egamiz. Trellis uchun bu S_0 tugundan chiqadigan pastki qirraga mos keladi. Biz $t=1$ da S_2 tugunga o'tdik.



Ikkinchi qadamda trellisning $S_2(t=1)$ tugunidan biz olingan $\overline{F(x)}$ kodli kombinatsiyaning ikkinchi juftligiga mos 11 vaznli qirrani tanlashimiz kerak. Bunday vaznli qirra bizda yo'q, u holda biz har ikkala mavjud variantlarni ko'rib chiqamiz. Yuqoridagi qirra uchun 10 vaznga egamiz. 10 va 11 orasidagi masofani $S_1(t=2)$ tugunga yozamiz. Pastdagi

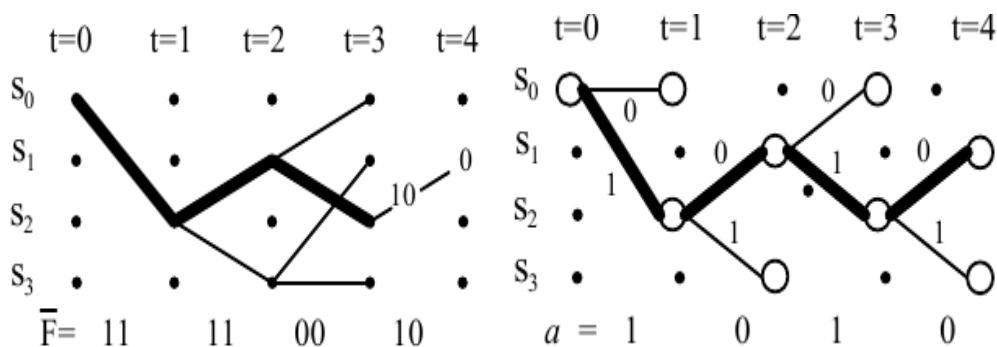
qirra uchun 01 vaznga egamiz. 01 va 11 orasidagi masofani $S_3 (t=2)$ tugunga yozamiz.



Olingan kodli kombinatsiyaning uchinchi juftligi 00 qiymatga ega bo‘ladi.

Uchinchi qadamda biz ikkita marshrutga ega bo‘lamiz. Trellisning $S_1(t=2)$ tugunidan 11 va 00 vaznli ikkita qirra chiqadi. Ular va qabul qilingan qiymat orasidagi masofani mos tugunlarda S_0 uchun 2 va S_2 uchun 0 yozamiz. S_3 tugundan 01 va 10 vaznli ikkita qirralar ham chiqadi. Ular va qabul qilingan 00 qiymat orasidagi 1 ga teng masofa S_1 va $S_3(t=3)$ tugunlarga yoziladi.

To‘rtinchi qadamda bizga maksimal vaznli tugunlarni tashlab yuborish zarur bo‘ladi, chunki ular uzatiladigan ketma-ketliklardan eng kuchli farqlanadigan ketma-ketliklarga mos keladi. Keyingi yo‘l uchun biz faqat S_2 tugunni qoldiramiz. Olingan kodli kombinatsiyaning to‘rtinchi juftligi 10 qiymatga ega. Trellisning $S_2(t=3)$ tugunidan 10 vaznli yuqoridagi qirra chiqadi va biz bu qirra bo‘yicha S_1 tugunga o‘tamiz.



Xulosada biz tugunlardan minimal yig‘indi masofali o‘tadigan yo‘lni aniqlashimiz kerak. Har bir qadamda biz yuqoridagi qirraga mos ravishda 0 qiymatni, pastki qirraga esa 1 qiymatni qo‘yamiz. Koddan chiqarilgan axborot ketma-ketligi quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi: $a = (1010)$

Nazorat savollari:

1. O'rama kodlar qaerlarda qo'llaniladi?
2. Xatoliklarni o'rama kod bilan tuzatish qanday amalga oshiriladi?
3. Trellis diagrammasiga tushuncha bering?
4. Uzatiladigan axborot xabari quyidagi ko'rinishga ega bo'lsa $a = (1110)$ olinadigan natija qanday bo'ladi?

3.5. Ikkilik va ikkilik bo'lmagan BChX kodlar

Kodli so'zlar orasidagi minimal masofa berilgan songa teng bo'lgan kodlarni qurish usuli haqidagi masala ochiq bo'lib qoldi. 1960 yilda bir-birlaridan mustaqil holda Bouz (Bose), Choudxuri (Chaudhuri) va Xokkengem (Hocquengem) bunday talablarni qoniqtiradigan polinomial kodlarni qurish usulini ochishdi. Bu kodlar Bouz-Choudxuri-Xokkengem yoki BChX-kodlar (BChH codes) nomini oldi.

Qulay kodlash va dekoderlash algoritmlari taklif etilgan tasodifiy bo'lmagan kodlarning orasidagi eng mashxurlaridan biri BChX kodlaridir. BChX kodi kodlash va dekodlash jarayonlarini sezilarli darajada osonlashtirgan, aniq algebraik strukturaga ega bo'lgan siklik kodlar oilasiga mansubdir.

BChX-kodlar nafaqat ikkilik bo'lishi mumkin, balki, masalan, amalda Rid-Solomon (Reed, Solomon) ikkilik bo'lmagan kodlari yetarlicha keng ishlatiladi.

BChX kodlarini kodlash va dekodlash algoritmining qulayligi, tasodifiy bo'lmagan kodlar ichida keng tarqalganligidir. Siklik kodlar sinfi BChX kodlarining katta qismini ifodalaydi, t marta va undan kichik bo'lgan xatoliklarni mustaqil ravishda to'g'iraydi. Siklik kodlarning barcha xususiyatlari BChX kodlari uchun xarakterli hisoblanadi.

1 xususiyat: Siklik kodlarni $n-1$ darajali polinomial va undan kichik ko'rinishda keltirish mumkin, ularning har biri $P(x)$ ko'plik polinomiga qoldiqsiz bo'linadi va ularni shakllantirilgan yoki ishlab chiqarilgan deyiladi.

2 xususiyat: Agar kodlar kombinatsiyasi $a_1, a_2, \dots, a_{n-1}, a_n$ esa siklik kodga tegishli bo'lsa, unda undan oldingi siklik siljigan elementlar natijasi $(a_1, a_2, \dots, a_{n-1}; a_{n-1}, a_n, a_{n-2})$ ham siklik kodga tegishli bo'ladi.

BChX kodlari $n, k, g(x)$ kattaliklari orqali aniqlanadi: bu yerda: n - kodli kombinatsiyadagi elementlar miqdori;

k – BChX kodining axborot elementlari miqdori;

$g(x)$ – BChX kodini keltirib chiqaradigan ko‘pxad.

BChX kodlarining parametrlari quyidagi shaklda tanlanadi:

1. $n = 2^m - 1$ formuladan kelib chiqib, n soni tanlanadi, bu yerda m – istalgan butun son.

2. To‘g‘rilash shart bo‘lgan xatolar miqdori aniqlanadi:

$$t = \frac{d_0 - 1}{2}$$

Bu yerdan BChX kod $d_0 > 2t + 1$ ga ega bo‘lishi lozim.

d_0 ga bog‘liq holda $g(x) = EKUK(m_1(x) \dots m_{2t}(x))$, hisoblanadi

bu yerda $m_1(x) \dots m_{2t}(x)$ – keltirilmagan minimal ko‘pxadlar.

3. Tekshiriladigan belgilar soni quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$r = m * t$$

4. k axborot belgilar soni quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$k = n - r = (2^m - 1) - r$$

BChX kodini kodlash quyidagidan iborat: Zarur $\alpha(x) = \alpha_0 \dots \alpha_{k-1}$ kod kombinatsiyasini x^{n-k} razryadga chapga siljitib shu sonni olamiz:

$$x^{n-k} \alpha(x) = x^{n-k} (\alpha_0 + \dots + \alpha_{k-1} x^{k-1}) = \alpha_0 x^{n-1} + \dots + \alpha_{k-1} x^{n-1}$$

$x^{n-k} \alpha(x)$ ko‘pxadini $g(x)$ ga bo‘lamiz va bo‘linmani quyidagi ko‘rinishda yozamiz:

$$x^{n-k} \alpha(x) = g(x) * q(x) + r(x),$$

bu yerda $q(x)$ - bo‘linma;

$r(x)$ - $g(x)$ ga bo‘lingandagi qoldiq.

$g(x)$ ko‘pxadining darajasi $n-k$ ga teng ekan, $r(x)$ ning darajasi $n-k-1$ ga teng bo‘ladi.

Bunda $x^{n-k} \alpha(x) + r(x) = g(x)q(x)$, bu yerdan bo‘linadigan BChX kodning izlangan kodli kombinatsiyasini olamiz.

BChX kodlarning boshqa siklik kodlardan farqi shundaki, keltirib bo‘lmaydigan polinomlar $GF(q)$ kengligini kengaytirishda ildizga ega

bo'lishi mumkin. Agar q , ($q=q^m$) sonining darajasi bo'lsa, bunda $m-1$ darajali polinom kengligi elementlaridir, ularning koeffitsienti $GF(p)$ oddiy kengligida yotadi.

$GF(q)$ oddiy kengligida kengaytirilgan kengliklar Galua maydoni deyiladi. $GF(q^m)$ maydoni elementlari m razryadli vektorlarning q elementi bilan ifodalanadi.

Misol. 3 xatoni to'g'rilovchi BChX kod yasaymiz, kodli kombinatsiya uzunligi $n=15$. $M=\log_2(n+1)=\log_2(15+1)=4$
 $r < m \cdot t \leq 4 \cdot 3 = 12$.

Minimal ko'pxadlar jadvalidan 1 va 3 minimal ko'pxadlarni tanlaymiz: $M_1(x)=10011$; $M_3(x)=11111$; $M_5(x)=111$.

Bunda $g(x)=10100110111$, va $r=10$, $k=n-r=5$, $(15,5)$ kodga egamiz. 10101 kombinatsiyasini kodlaymiz:

$$\begin{array}{r|l}
 \oplus \begin{array}{r} 10101000000000 \\ 10100110111 \end{array} & \begin{array}{l} 10100110111 \\ \hline 10001 \end{array} \\
 \hline
 000011101110000 & \\
 \oplus \begin{array}{r} 10100110111 \end{array} & \\
 \hline
 01001000111 &
 \end{array}$$

Yuqorida keltirilgan kombinatsiyani polinom ko'rinishga keltiramiz:

$$\begin{array}{r|l}
 \oplus \begin{array}{r} x^{14}+x^{12}+x^{10} \\ x^{14}+x^{12}+x^9+x^8+x^6+x^5+x^4+1 \end{array} & \begin{array}{l} x^{10}+x^8+x^5+x^4+x^2+x+1 \\ \hline x^4+1 \end{array} \\
 \hline
 x^{10}+x^9+x^8+x^6+x^5+x^4 & \\
 \oplus \begin{array}{r} x^{10}+x^8+x^5+x^4+x^2+x+1 \end{array} & \\
 \hline
 x^9+x^6+x^2+x+1 &
 \end{array}$$

BChX kodi bilan kodlangan kombinatsiya quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi: 10101 1001000111.

2 va 10 pozitsiyalariga xatolarni kiritamiz: 1110110011001111.

Hosil qilinadigan polinomga qabul qilingan kombinatsiyani bo'lamiz:

$$\begin{array}{r|l}
\oplus & 11101100011001111 & 10100110111 \\
& \underline{10100110111} & 11011 \\
& 010010100010 & \\
\oplus & \underline{10100110111} & \\
& 0011001010111 & \\
\oplus & \underline{10100110111} & \\
& 01111110110 & W=8
\end{array}$$

Yuqorida keltirilgan kombinatsiyani polinom ko'rinishga keltiramiz:

$$\begin{array}{r|l}
\oplus & x^{14}+x^{13}+x^{12}+x^{10}+x^9+x^6+x^5+x^2+x+1 & x^{10}+x^8+x^5+x^4+x^2+x+1 \\
& \underline{x^{14}+x^{12}+x^9+x^8+x^6+x^5+x^4} & x^4+x^3+x+1 \\
& x^{13}+x^{10}+x^8+x^4+x^2+x+1 & \\
\oplus & \underline{x^{13}+x^{11}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^3} & \\
& x^{11}+x^{10}+x^7+x^5+x^3+x^2+x+1 & \\
\oplus & \underline{x^{11}+x^9+x^6+x^5+x^3+x^2+x} & \\
& x^{10}+x^9+x^7+x^6+1 & \\
\oplus & \underline{x^{10}+x^8+x^5+x^4+x^2+x+1} & \\
& x^9+x^8+x^7+x^6+x^5+x^4+x^2+x & \\
& 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 & W=8
\end{array}$$

Olingan $W=8$ qoldiqimizning vazni to'g'irlangan xatolar sonidan katta ekan, kombinatsiyani siklik siljitishni va hosil bo'ladigan polinomga qoldiq ikkiga teng vaznda bo'lgunicha bo'lishni amalga oshiramiz:

$$\begin{array}{r|l}
\oplus & 1110110011001111 & 10100110111 \\
& \underline{10100110111} & 11100 \\
& 011111110111 & \\
\oplus & \underline{10100110111} & \\
& 010110000001 & \\
\oplus & \underline{10100110111} & \\
& 0001011011011 & W=7
\end{array}$$

Yuqorida keltirilgan kombinatsiyani polinom ko'rinishga keltiramiz:

$$\begin{array}{r}
 \begin{array}{l}
 \oplus \\
 \oplus
 \end{array}
 \begin{array}{r}
 x^{14}+x^{13}+x^{11}+x^{10}+x^7+x^6+x^3+x^2+x+1 \\
 x^{14}+x^{12}+x^9+x^8+x^6+x^5+x^4 \\
 \hline
 x^{13}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^9+x^8+x^7+x^5+x^4+x^3+x^2+x+1 \\
 \oplus \\
 x^{13}+x^{11}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^3 \\
 \hline
 x^{12}+x^{10}+x^9+x^2+x+1 \\
 \oplus \\
 x^{12}+x^{10}+x^7+x^6+x^4+x^3+x^2 \\
 \hline
 x^9+x^7+x^6+x^4+x^3+x+1 \\
 \hline
 1011011011 \quad W=7
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 x^{10}+x^8+x^5+x^4+x^2+x+1 \\
 \hline
 x^4+x^3+x^2
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

Olingan $W=7$ qoldig'imizning vazni to'g'irlangan xatolar sonidan katta ekan, kombinatsiyani siklik siljitishni va hosil bo'ladigan polinomga qoldiq ikkiga teng vaznda bo'lgunicha bo'lishni amalga oshiramiz:

$$\begin{array}{r}
 \oplus \\
 \oplus
 \end{array}
 \begin{array}{r}
 101100110011111 \\
 10100110111 \\
 \hline
 00010101110111 \\
 \oplus \\
 10100110111 \\
 \hline
 00001000001 \quad W=2
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 10100110111 \\
 \hline
 10010
 \end{array} \right.$$

Yuqorida keltirilgan kombinatsiyani polinom ko'rinishga keltiramiz:

$$\begin{array}{r}
 \oplus \\
 \oplus
 \end{array}
 \begin{array}{r}
 x^{14}+x^{12}+x^{11}+x^8+x^7+x^4+x^3+x^2+x+1 \\
 x^{14}+x^{12}+x^9+x^8+x^6+x^5+x^4 \\
 \hline
 x^{11}+x^9+x^7+x^6+x^5+x^3+x^2+x+1 \\
 \oplus \\
 x^{11}+x^9+x^6+x^5+x^3+x^2+x \\
 \hline
 x^7+1 \\
 \hline
 001000001 \quad W=2
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 x^{10}+x^8+x^5+x^4+x^2+x+1 \\
 \hline
 x^4+x
 \end{array} \right.$$

Modul bo'yicha oxirgi ikkita bo'linuvchilarni qoldiqlari bilan qo'shamiz $101100110011111 \oplus 10000001 = 10110010001111$ **10**.

Olingan ketma-ketligimizni ikkita razryad o'ngga siklik siljitamiz: 010110010001111, 101011001000111- bu ketma-ketlik yuborilgan hisoblanadi.

BChX kodini dekodlash algoritmi bir nechta bosqichdan iborat:

1. Sindromni hisoblash.
2. Xatolar lokatori ko'pxadini hisoblash.
3. Hatolar lokatori ko'pxadi ildizlarini topish.
4. Xatolarni to'g'irlash.

Misol. $n=15$ uzunlikdagi kodli so'zlar va kodli so'zlar orasidagi $d=5$ minimal masofali BChX kodini qurish kerak. Oddiy ko'phadning darajasi $q=\log_2(n+1)=4$ ga teng va uning o'zi x^4+x^3+1 ga teng. α bu ko'phadning ildizi bo'lsin, u holda α^2 va α^4 ham uning ildizlari bo'ladi. α^3 uchun minimal ko'phad $x^4+x^3+x^2+x+1$ bo'ladi.

$$\begin{aligned} \text{Demak, } g(x) &= EKUK(x^4+x^3+1, x^4+x^3+x^2+x+1) = \\ &= (x^4+x^3+1)(x^4+x^3+x^2+x+1) = x^8+x^4+x^2+x+1. \end{aligned}$$

Olingan ko'phadning darajasi 8 ga teng, demak, qurilgan BChX kod $(7,15)$ kodli bo'ladi. 1000100 so'z yoki $a(x)=x^4+1$ $a(x)g(x)=x^{12}+x^6+x^5+x^2+x+1$ yoki 111001100000100 kodli so'z bilan kodlanadi.

$n=2^q-1$ uzunlikdagi va kodli so'zlarli va nazorat simvollarini soni $q(d-1)/2$ dan ortiq bo'lmagan d toq minimal masofali ikkilik BChX kodni qurish mumkin.

Amalda qo'llanilgan birinchi BChX kod 5 gacha karrali xatoliklarni to'g'rilaydigan (92,127) kod bo'lgan, ammo eng keng qo'llanishni 6 gacha karrali xatoliklarni aniqlaydigan (231, 255) kod oldi. O'rtacha uzunlikdagi BChX kod takomillashgan va kvazi takomillashgan kodlardan juda uzoqda emas. Xemming kodlari, masalan, BChX kodlar hisoblanadi, kodli so'zi minimal 5 vaznli BChX-kodlar kvazi takomillashgan kodlar hisoblanadi. Lekin kodli so'zlar uzunliklarining ortishi bilan BChX kodlarning sifati pasayadi.

Nazorat savollari:

1. BChX kodi qachon va kimlar tomonidan kashf etilgan?
2. BChX kodlari qanday kattaliklar orqali aniqlanadi?
3. BChX dekodlash algoritmi nechta bosqichdan iborat?
4. $n=10$ uzunlikdagi kodli so'zlar va kodli so'zlar orasidagi $d=3$ minimal masofali BChX-kodni quring?

3.6. Rid - Solomon kodlari

Solomon Volf Golomb 30 may 1932 yil AQShning Merilend shtatida tavallud topgan. Amerikalik matematik, muhandis, janubiy Kaliforniya universiteti elektrotexnika professori. Rossiyalik dasturchi Aleksey Pajitnov bilan birgalikda yaratgan "Tetris" kompyuter o'yini ko'p tomoshabinlarga manzur bo'lgan. Golomb kombinatorlik tahlil, sonli tahlil va kodlash nazariyasi bo'yicha maxsus vazifalar bilan shug'ullangan. Golomb tomonidan entropiyali kodlash usuli taklif etilgan.



Solomon Volf
Golomb
1932-2016

JPEG-LS standartida tasvirlarni siqishda MPEG-4 standartida ovozlarni yo'qotishsiz siqishda qo'llaniluvchi entropiyani kodlash usulini taklif etgan. S. Golomb sharafiga radoaloqa, astronomiya, ma'lumotlarni shifrlashda qo'llaniluvchi kodlarga Golomb lineykasi nomi berilgan. U 1 may 2016 yil AQShning Kaliforniya shtatida vafot etgan.

Rid – Solomon kodini qurish asoslari. Kuchli kodlar zamonaviy algebra strukturasi bog'liq ravishda quriladi. Ko'pgina yaratilgan kodlar, ko'pxadlar xalqasi va Galua maydoni strukturasi asoslangan holda qurilgan. Asosiy algebraik amallar bajarish mumkin bo'lgan elementlar majmuasiga guruh, xalqa va maydon kiradi.

Bitta asosiy amal va unga teskari bo'lgan amalni (qo'shish va ayirish yoki ko'paytirish va bo'lish) bajarish mumkin bo'lgan sistemaga guruh deb ataladi. Guruhning tarkibiy qismiga, guruh elementlari deb ataluvchi elementlardan tashkil topgan chekli yoki cheksiz G to'plam kiradi.

G to'plamning ikkita elementi g_1 va g_2 ustida bajariladigan guruhli amal (0) natijasida shu to'plamga tegishli bo'lgan uchinchi element $g_1 \circ g_2$ hosil bo'ladi. Guruhdagi $g_1 \circ g_2$ belgi, agar qo'shish amali bajariladigan bo'lsa $g_1 + g_2$, ko'paytirish amali bo'lsa $g_1 * g_2$ kabi belgilanadi.

Guruhli amallar (0) ni bajarish mumkin bo'lgan G to'plam, quyidagi aksiomalar bajarilganda guruh deb ataladi.

1. Assotsiativlik: G to'plamning ixtiyoriy uchta elementlari g_1, g_2, g_3 uchun quyidagi munosabat o'rinli:

$(g_1 \circ g_2) \circ g_3 = g_1 \circ (g_2 \circ g_3)$, ya'ni $(g_1 + g_2) + g_3 = g_1 + (g_2 + g_3)$,
yoki $(g_1 * g_2) * g_3 = g_1 * (g_2 * g_3)$

2. G to'plam elementlari ichidan $g * 1 = 1 * g = g$ tenglik bajariladigan neytral deb ataluvchi elementi mavjud bo'lishi kerak. Agar guruhli amal qo'shish amali bo'lsa, unda neytral element deb «0» aytiladi, ya'ni: $0 + a = a + 0 = a$

Agar ko'paytirish amali bo'lsa, unda neytral element «1» deb aytiladi, ya'ni: $1 * a = a * 1 = a$

3. G to'plamga tegishli bo'lgan g elementlarga teskari bo'lgan element g^{-1} mavjud bo'lishi kerak. Agar quriladigan amal qo'shish bo'lsa teskari element $(-a)$ kabi, agar ko'paytirish bo'lsa, unda teskari element a^{-1} kabi belgilanadi.

Guruh chekli deyiladi, agar u chekli sonli elementlardan tashkil topgan bo'lsa, aks xolda esa cheksiz guruh deb aytiladi.

Kodlashtirish nazariyasi bo'yicha ayirish amali modul m ($\text{mod } m$) bo'yicha bajariladi. Bunda bizni sonning o'zi emas m natural songa bo'linishi natijasida bir xil qoldiqlarga ega bo'lgan ikkita son o'zaro ekvivalent son deyiladi. Masalan, $m=2$ bo'lganda ikkita son yoki ikkalasi ham toq yoki ikkalasi ham juft bo'lganda o'zaro ekvivalent bo'ladi. Ikkita a va v sonini m ga bo'lganda bir xil qoldiqqa ega bo'lsa, u holda bu ifoda quyidagicha yoziladi: $a \equiv v \pmod{m}$

Masalan, $7 \equiv 3 \pmod{4}$ 7 soni 3 ga modul 4 bo'yicha teng deb aytiladi.

Qo'shish va ko'paytirish amallari bajariladigan R to'plam, quyidagi aksiomalar o'rinli bo'lganda xalqa deb ataladi:

1. R to'plam qo'shish amaliga nisbatan kommutativ guruh hisoblanadi;

2. Assotsiativlik R to'plam elementlari a, v, s uchun quyidagi tenglik o'rinli: $a * (v + s) = a * v + a * s$

3. Xalqada ko'paytirish amaliga nisbatan, shu xalqaga tegishli bo'lgan birlik element mavjud: $1 * a = a * 1 = a$

Nol bo'lmagan elementlarning teskari elementi mavjud bo'lgan kommutativ xalqaga maydon deb ataladi. Maydon – bu «qo'shish», «ayirish», «ko'paytirish», «bo'lish» mumkin bo'lgan matematik obyektlar to'plamidir.

Modul 2 bo'yicha qo'shish va ko'paytirish mumkin bo'lgan ikkita simvollar 0 va 1 alfaviti ikkita elementdan iborat bo'lgan maydon deb ataladi va $GF(2)$ kabi belgilanadi.

q ta elementdan iborat bo'lgan maydon chekli maydon yoki Galua maydoni deb ataladi va $GF(q)$ kabi belgilanadi.

Agar q R sonining darajasi ko‘rinishida ($q=p^m$, m – butun son) bo‘lsa, u xolda $GF(P^m)$ maydonning elementlari ($m-1$) darajali ko‘pxad ko‘rinishida bo‘ladi: $a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_{m-1}x^{m-1}$.

a_i koeffitsientlar $GF(P)$ maydonga tegishli bo‘lgan sonlardir.

Siklik kodlarni qurishda foydalaniladigan $R(x)$ ko‘pxad va $GF(P^m)$ maydon elementlarning bir qator xossalari mavjud:

1. $GF(P^m)$ maydonning hamma noldan farqli elementlari;

2. P^m-1 tartibli multiplikativ guruhni tashkil etadi. U holda maydonning ixtiyoriy elementi α uchun $\alpha^{P^m-1} = 1$ tenglik o‘rinli. Ushbu xossadan kelib chiqadigan tenglik $\alpha^{P^m} = \alpha$ maydonning nolga teng bo‘lgan elementi uchun ham bajariladi $\alpha=0$. Maydonning nolga teng bo‘lmagan elementlari $\alpha^{P^m-1} - 1$ ko‘pxadning ildizlari bo‘ladi, maydonning hamma elementlari esa $x^{P^m} - x$ ko‘pxadning ildizlari hisoblanadi;

3. $GF(P^m)$ maydonning har doim tartibli α elementi mavjud bo‘ladi, ya’ni P^{m-1} tartibli elementi. Maydonning nolga teng bo‘lmagan elementlarini bitta yoki bir nechta α ning darajali ko‘rinishida tasvirlash mumkin. Xulosa qilib aytganda Galua maydonining multiplikativ guruhi siklikdir.

Siklik kodlar nazariyasida quyidagi xossalar muhim o‘rin tutadi.

1. Modul R bo‘yicha keltiriladigan har qanday m darajali $R(x)$ ko‘pxadning (agar u mavjud bo‘lsa) $x^{P^m-1} - 1$ ikkihadli bo‘luvchisi mavjud;

2. $GF(P)$ oddiy maydonda quyidagi tenglik bajariladi:

$$(a+v)^r = a^r + v^r$$

3. Modul R uchun $[P(x)]^p = P(x^p) \pmod{p}$ tenglik o‘rinli. Bu yerda $R(x)$ – koeffitsientlari $GF(P)$ maydonga tegishli bo‘lgan ixtiyoriy ko‘pxad;

4. Agar $GF(P^m)$ maydonning α elementi modul R bo‘yicha keltirilmaydigan m darajali $R(x)$ ko‘pxadning ildizi bo‘lsa, unda $R(x)$ ning qolgan ildizlari $\alpha^D, \alpha^{D^2}, \dots, \alpha^{D^{m-1}}$ elementlar bo‘ladi.

5. Agar $k-n$ ning bo‘luvchisi bo‘lsa, u holda x^k-1 ko‘pxad x^n-1 ko‘pxadning bo‘luvchisi bo‘ladi.

6. Agar modul R bo‘yicha keltirilmaydigan k darajali $R_1(x)$ ko‘pxad $x^{P^m-1} - 1$ ikkihadning bo‘luvchisi bo‘lsa, u xolda k daraja m sonining bo‘luvchisi bo‘lishi kerak va aksincha;

7. Ixtiyoriy oddiy R son va istalgan oddiy m darajali $R(x)$ ko'pxad uchun, faqat bitta $GF(R^m)$ Galua maydoni mavjud.

$GF(P^m)$ ko'rinishdagi Galua maydonida faqat ikkita-ko'shish va ko'paytirish amalini bajarish mumkin. Ko'shish mod 2 bo'yicha, ko'paytirish esa mod m bo'yicha bajariladi.

Maydonning ikkita elementini 0 va 1 orqali belgilaymiz va qo'shish hamda ko'paytirish amallarini bajaramiz:

$$\begin{array}{ll} 0 + 0 = 0 & 0 * 0 = 0 \\ 0 + 1 = 1 & 0 * 1 = 0 \\ 1 + 0 = 1 & 1 * 0 = 0 \\ 1 + 1 = 1 & 1 * 1 = 1 \end{array}$$

$GF(P^m)$ Galua maydonini qurish kerak bo'lsin, $r=2$, $m=4$ ya'ni $GF(2^n)$. Buning uchun modul 2 bo'yicha keltirilmaydigan oddiy $R(x)=x^n+x+1$ ko'pxadni olamiz. α - bu ko'pxadning ildizi bo'lsin, unda u $GF(2^n)$ maydonning 1-tartibli elementi hisoblanadi. 2-xossaga asosan hamma 15 ta noldan farqli elementlar quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{array}{llll} \alpha^0 = 1 & \longrightarrow & (0001) \\ \alpha^1 = \alpha & \longrightarrow & (0010) \\ \alpha^2 = \alpha^2 & \longrightarrow & (0100) \\ \alpha^3 = \alpha^3 & \longrightarrow & (1000) \\ \alpha^4 = 1 + \alpha & \longrightarrow & (0011) \\ \alpha^5 = \alpha + \alpha^2 & \longrightarrow & (0110) \\ \alpha^6 = \alpha^2 + \alpha^3 & \longrightarrow & (1100) \\ \alpha^7 = 1 + \alpha + \alpha^3 & \longrightarrow & (1011) \\ \alpha^8 = 1 + \alpha^2 & \longrightarrow & (0101) \\ \alpha^9 = \alpha + \alpha^3 & \longrightarrow & (1010) \\ \alpha^{10} = 1 + \alpha + \alpha^2 & \longrightarrow & (0111) \\ \alpha^{11} = \alpha + \alpha^2 + \alpha^3 & \longrightarrow & (1110) \\ \alpha^{12} = 1 + \alpha + \alpha^2 & \longrightarrow & (1111) \\ +\alpha^3 & & \\ \alpha^{13} = 1 + \alpha^2 + \alpha^3 & \longrightarrow & (1101) \\ \alpha^{14} = 1 + \alpha^3 & \longrightarrow & (1001) \\ \alpha^{15} = 1 & \longrightarrow & (0001) \end{array}$$

$GF(2^4)$ Galua maydonining oddiy elementi 0001 ga, nol elementi 000 ga teng.

Galua maydonining elementlarini qo‘shish, razryadlarini mod 2 bo‘yicha qo‘shish kabi bajariladi:

$$\begin{array}{r} \alpha^3 + \alpha^9 = \alpha^{12} \\ 0101 \\ \underline{1010} \\ 1111 = \alpha^{12} \end{array} \qquad \begin{array}{r} \alpha^5 + \alpha^{11} = \alpha^3 \\ 0110 \\ \underline{1110} \\ 1000 = \alpha^3 \end{array}$$

Ko‘rsatkichli ko‘rinishdagi elementlarni ko‘paytirish quyidagicha bajariladi: $\alpha^3 * \alpha^{14} = \alpha^{17}$

17- daraja esa (2^4-1) dan katta, u xolda ko‘paytirish natijasida quyidagini hosil qilamiz: $\alpha^3 * \alpha^{14} = \alpha^{17} - \alpha^{15} = \alpha^2$

Rid-Solomon kodining parametrlari quyidagilar:

1. n - Rid-Solomon kodidagi blok uzunligi:

$$n = q - 1, \quad q = 2^m$$

2. k – Rid-Solomon kodining axborot qismi:

$$k = n - r$$

3. r - Rid-Solomon kodining tekshiruv qismi:

$$d = r + 1 = n - k + 1$$

Rid-Solomon kodi t ta xatolarni to‘g‘irlashi:

$$t = (d - 1) / 2$$

yoki t ta xatolarni va v ta o‘chirilganlarni to‘g‘irlashi:

$$d \geq 2t + v + 1.$$

Axborotlarni Rid-Solomon kodida kodlashtirish usullari. Rid – Solomon kodi bir karralik xatolarni, shuningdek xatolar paketini to‘g‘irlashi mumkin. Rid-Solomon kodining apparatli qismini yaratish oddiy bo‘lgani sababli, ushbu kod aloqa texnikalarida keng ko‘lamda qo‘llanilmoqda. Ko‘p xollarda Rid-Solomon kodidan kaskadli kodlarni qurishda foydalaniladi. Unda Rid-Solomon kodi tashqi kod sifatida ishlatiladi.

Rid-Solomon kodi ham siklik kodlar turkumiga kiradi, shuning uchun ham siklik kodlarning hamma xossalari ushbu kod uchun ham o‘rinli:

1. Axborotlarni siklik kodlarda kodlashtirish, $r/n < 0,5$ tengsizlik bajarilganda yasovchi ko‘pxad $R(x)$ orqali emas, balki tekshiruvchi ko‘pxad yordamida bajariladi;

2. Axborotlarni siklik kodlarda kodlashtirish, $r/n > 0,5$ tengsizlik bajarilganda esa yasovchi ko‘pxad $R(x)$ orqali amalga oshiriladi.

Ko‘p holatlarda 2-usulda kodlashtirish amalga oshiriladi. Shu sababli ushbu usulga ko‘proq to‘xtalib o‘tamiz. Bu usul orqali kodlashtirishda, axborot ketma-ketlik x^r razryad chapga suriladi va yasovchi ko‘pxad ($R(x)$)ga bo‘lish natijasida qoldiq olinadi. Keyin hosil bo‘lgan qoldiq axborot ketma-ketlikka qo‘shiladi. Rid-Solomon kodini yasovchi ko‘pxadi quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$g(x) = \prod_{i=1}^{2t} (x - \alpha^{2^i}) = (x - \alpha)(x - \alpha^2) \dots (x - \alpha^{2^t})$$

Ko‘pxadning darajasi $2t$ quyidagi munosabatdan kelib chiqadi:

$$n - k = 2t$$

(15.9) parametrlari Rid - Solomon kodini yasovchi ko‘pxadni hisoblashni misolda qarab chiqamiz:

$$n = 15, k = 9 \quad \frac{k}{n} = \frac{9}{15} = 0,6 > 0,5$$

Demak kodlashtirish 2-usulda bajariladi.

$$n - k = 15 - 9 = 6 = 2t$$

Yasovchi ko‘pxad 6-darajali bo‘lar ekan:

$$g(x) = (x - \alpha)(x - \alpha^2)(x - \alpha^3)(x - \alpha^4)(x - \alpha^5)(x - \alpha^6)$$

(15.9) Rid-Solomon kodi uchun $GF(2^m)$ ko‘rinishdagi Galua maydonini qurish kerak. $2^m = q = n + 1 = 15 + 1 = 16$, $m = 4$.

(15.9) Rid-Solomon kodining minimal kod masofasi quyidagi formula asosida topiladi:

$$d = n - k + 1 = 15 - 9 + 1 = 7$$

Ushbu kod quyidagi formulaga asosan xatoni to‘g‘irlashi mumkin:

$$t = \frac{(d-1)}{2}, \quad t = \frac{7-1}{2} = 3$$

Bu formulaga asosan esa 2 ta xatoni va 2 ta o'chirilganni, 1 ta xato va 4 ta o'chirilganni, 6 ta o'chirilganni to'g'irlashi mumkin.

Kod parametrlarini bilgan holda Galua maydonini qurish hamda kodlashtirish mumkin.

Misol. $\alpha x^7 + \alpha^8 x^6$ kombinatsiyani uzatish kerak bo'lsin. Ushbu kombinatsiyani yasovchi ko'pxadga bo'lamiz va hosil bo'lgan qoldiqni shu kombinatsiyaga qo'shamiz. Natijada kodlangan kombinatsiyani hosil qilamiz:

$$g(x) = (x-\alpha)(x-\alpha^2)(x-\alpha^3)(x-\alpha^4)(x-\alpha^5)(x-\alpha^6) = x^6 + \alpha^{10}x^5 + \alpha^{14}x^4 + \alpha^4x^3 + \alpha^6x^2 + \alpha^9x + \alpha^6$$

$g(x)$ – yasovchi ko'pxad;

$$\begin{array}{r} \alpha x^7 + \alpha^8 x^6 \qquad \qquad \qquad | \quad x^6 + \alpha^{10}x^5 + \alpha^{14}x^4 + \alpha^4x^3 + \alpha^6x^2 + \alpha^9x + \alpha^6 \\ \hline \alpha x^7 + \alpha^{11}x^6 + \alpha^{15}x^5 + \alpha^5x^4 + \alpha^7x^3 + \alpha^{10}x^2 + \alpha^7x \qquad \qquad \alpha x + \alpha^7 \\ \hline \alpha^7x^6 + \alpha^{13}x^5 + \alpha^5x^4 + \alpha^7x^3 + \alpha^{10}x^2 + \alpha^7x \\ \hline \alpha^7x^6 + \alpha^2x^5 + \alpha^6x^4 + \alpha^{11}x^3 + \alpha^{13}x^2 + \alpha x + \alpha^{13} \\ \hline \alpha^8x^5 + \alpha^9x^4 + \alpha^8x^3 + \alpha^9x^2 + \alpha^{14}x + \alpha^{13} \end{array}$$

Kodlangan kombinatsiya quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\alpha x^7 + \alpha^8 x^6 + \alpha^8 x^5 + \alpha^9 x^4 + \alpha^8 x^3 + \alpha^9 x^2 + \alpha^{14} x + \alpha^{13}$$

Axborotlarni Rid-Solomon kodida kodlashtirish algoritmini ko'rib chiqamiz. Algoritm asosida eng avvalo Galua maydoni hisoblanadi. So'ngra Rid-Solomon kodining parametrlari kiritiladi va Galua maydoni elementlari yordamida kodlashtirish amalga oshiriladi. Kodlashtirish axborot ketma-ketlikni r razryad chapga surgandan so'ng, yasovchi polinomga bo'lingandan hosil bo'lgan qoldiqni o'sha axborot ketma-ketlikka qo'shish orqali amalga oshiriladi.

Kodlashtirish algoritmi quyidagi bosqichlardan (bloklardan) iborat:

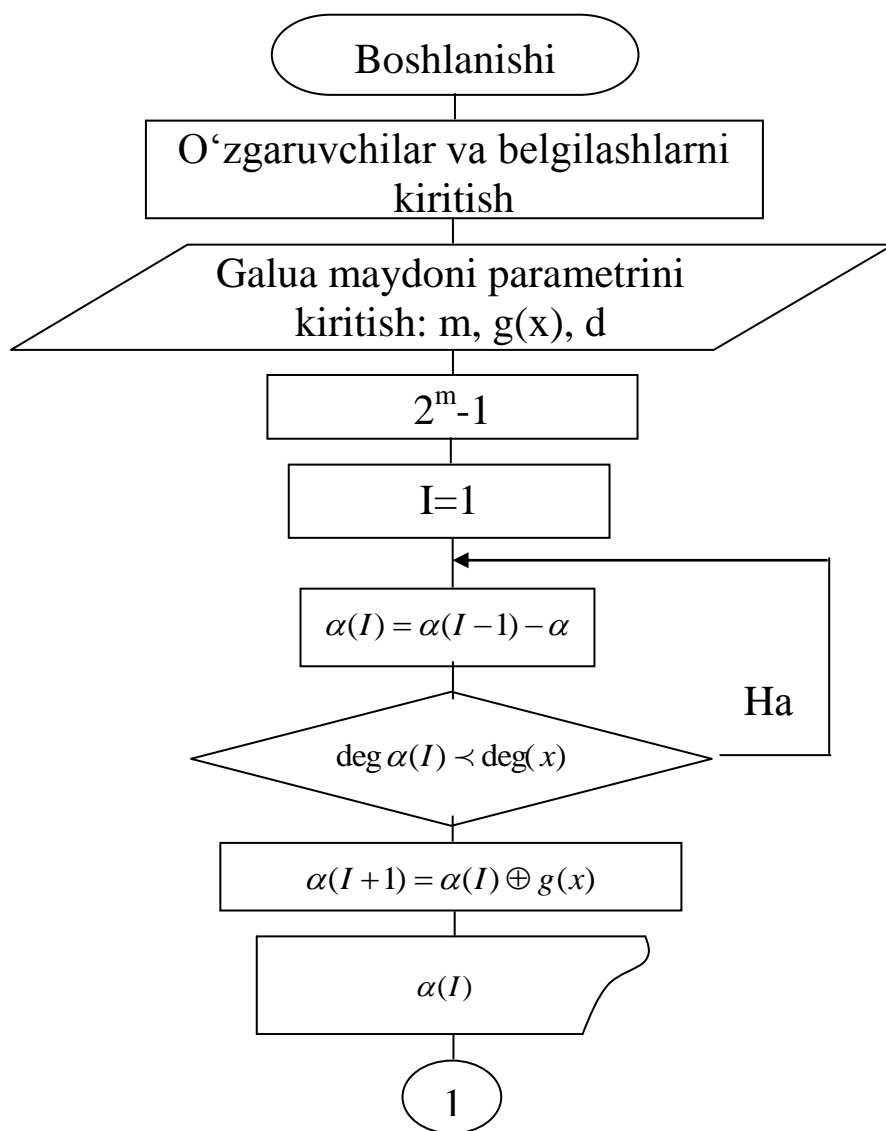
1. O'zgaruvchilar va belgilashlar kiritiladi;
2. Galua maydoni parametrlari m , $g(x)$, d kiritiladi; m – ushbu maydonning kengayish qiymati; $g(x)$ - m kengaytma uchun keltirilmaydigan ko'pxad; α – oddiy element.
3. m qiymatga bog'liq ravishda Galua maydonining elementlar soni kiritiladi;

4. Galua maydonining elementlarini hisoblash uchun boshlang'ich shart kiritiladi;

5. «Har bir element oldingi elementni α – oddiy elementga ko'paytirilganiga teng» degan prinsip bo'yicha Galua maydoni elementlari hisoblanadi;

6. Galua maydonining eng katta elementining darajasi, keltirilmaydigan ko'pxad darajasidan kichik bo'lishi kerak. Ya'ni $\deg \alpha(I) < \deg g(x)$ shart tekshiriladi. Agar shart bajarilmasa 7 – blokka o'tiladi. Unda navbatdagi element Galua maydonining keltirilmaydigan ko'pxadi bilan mavjud elementni $\text{mod } 2$ operatsiyasi orqali hisoblanadi;

8. Galua maydonining hamma elementlari chop etiladi. Galua maydonining elementlarini hisoblash algoritmi 3.9 – rasmda keltirilgan.



3.9 – rasm. Galua maydoning elementlarini hisoblash algoritmi

9. Rid-Solomon kodining parametrlari kiritiladi:

- n – blok uzunligi;
- r – blokning tekshiruv qismi;
- k – blokning axborot qismi;
- $g(x)$ – yuqoridagi parametrlarga bog‘liq bo‘lgan keltirilmaydigan ko‘pxad;

10. Kodli kombinatsiya ($k(I)$)ning qiymati kiritiladi;

11. d – kod masofasi hisoblanadi;

12. t – to‘g‘irlash qobiliyati hisoblanadi;

13. d va t ning qiymati chop etiladi;

14. Kiritilgan axborot qismning elementlari soniga mos ravishda kodli kombinatsiya uzunligi hisoblanadi;

15. Kodli kombinatsiyaning axborot qismi $k(I)$ ni r razryad chapga suriladi. Surish natijasida hosil bo‘lgan kodli kombinatsiya N_2 ga teng;

16. Hosil bo‘lgan kodli kombinatsiya N_2 ni $g(x)$ keltirilmaydigan ko‘pxadga bo‘linadi va $R(x)$ qoldiq hosil qilinadi. Bo‘lish prinsipi ikkilik kodlarni bo‘lish kabi bo‘ladi, lekin 0 va 1 lar o‘rnida Galua maydonining elementlari bo‘ladi. Qo‘shish va ko‘paytirish amallari ham mod m asosida bo‘ladi;

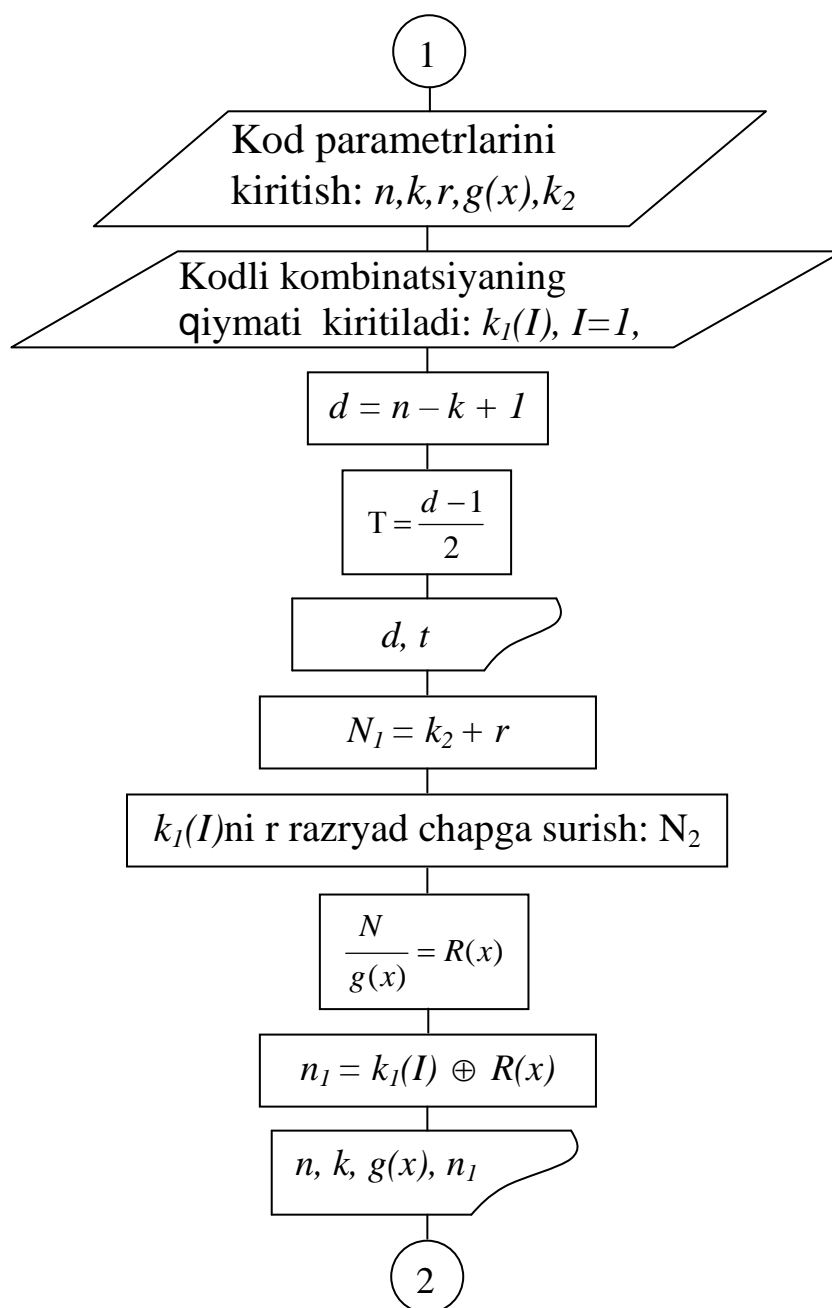
17. r ta nolni hosil bo‘lgan $R(x)$ qoldiq bilan almashtiriladi. Bu operatsiya natijasida kodlashtirilgan kombinatsiya nI hosil qilinadi;

18. Kod parametrlari n , k va $g(x)$ – keltirilmaydigan ko‘pxad, hamda nI – kodlashtirilgan kombinatsiya chop etiladi.

Kodlashtirish algoritmi 3.10- rasmda keltirilgan.

Rid – Solomon kodida kodlangan axborotlarni dekodlash usullari. Aloqa kanaliga ta’sir etuvchi shovqin hisobiga, istalgan kodli kombinatsiya xatolarga uchrashi mumkin. Kodli kombinatsiyadagi xatolar to‘g‘risidagi ma’lumotni sindromlar orqali olish mumkin.

$f(x)$ – kodli kombinatsiya uzatilgan bo‘lsin. Aloqa kanali bo‘yicha uzatish jarayonida xatolar hosil bo‘ldi va $F(x)=f(x)+e(x)$ kombinatsiya qabul qilindi, $e(x)$ – xatolar vektori. Xatolar vektori noldan farqli bo‘lgan kombinatsiyalardan iborat. Xatolar vektori $e(x)$ ning har qaysi noldan farqli komponenti Y_i va X_i elementlar ko‘rinishida yoziladi;



3.10 – rasm. Rid – Solomon kodida kodlashtirish algoritmi

Y_i – xatolarning qiymati;

X_i - xatolar pozitsiyalarining nomerlari;

Y_i – $GF(P)$ maydonning elementi;

X_i – $GF(P^m)$ maydonning elementi.

Agar t ta xato yuz bergan bo‘lsa, unda $e(x)$ t ta noldan farqli bo‘lgan komponentdan tashkil topadi va t juft $(Y_i X_i)$ ni yozish talab etiladi. U holda

$$e(\alpha^i) = \sum_{i=1}^t Y_i X_i = S_i$$

$S_i = e(\alpha^i)$ ning qiymatlari $0 \leq i \leq 2t-1$ tengsizlikni tekshirish orqali beriladi.

Shunday qilib xatolar sindromi xatolar bilan quyidagi tenglama orqali bog'langan:

$$S_j = \sum_i Y_i X_i^j, \quad 0 \leq j \leq 2t-1$$

Ushbu tenglama noxiziqli tenglama bo'lib uni yechishning ixtiyoriy usuli xatolarni to'g'irlash protsedurasining asosini tashkil etadi. Bu tenglamani yechishda Berlekemp tomonidan taqdim etilgan usuldan foydalaniladi. Bu usulda murakkab hisoblangan bosqich – xatolar lokatorining ko'pxadini topishdan iborat.

$$T(x) = T_0 + T_1 + \dots + T_{t-1} = \prod_{i=1}^t (1 - x_i x)$$

Ko'rinishidagi ko'phad – xatolar lokatorining ko'phadi deyiladi. Bu yerda $x_i (i=1, \dots, t)$ – xatolar lokatorlari deyiladi. Ular $x_i = \alpha^{ii}, \dots, x_t = \alpha^{it}$ ga teng bo'lgan $GF(P)$ maydon elementlaridan iborat.

Xatolar lokatorining ko'phadini $T(\delta) = T_t \delta^t + T_{t-1} \delta^{t-1} + \dots + T_1 \delta + 1$ T_t, T_{t-1}, \dots, T_1 kattaliklar ma'lum bo'lsa quyidagini yozish mumkin:

$$S_j = -\sum_{i=1}^t T_i S_{j-1}$$

bu yerda $j = t+1; \dots; 2t$ $S_{j-t}; S_{j-t+1}; \dots S_{j-1}$ komponentlar bo'yicha navbatdagi $S_j, T_t, T_{t-1}, \dots, T_1$ qiymatlar yordamida hisoblanadi. Dekoderga S_1, S_2, S_{2t} sindromlar komponentlari ma'lum, T_t, T_{t-1}, \dots, T_1 qiymatlar esa noma'lum. Shuning uchun xatolar lokatorlarining ko'phadi ($T(x)$)ni aniqlash quyidagicha amalga oshadi:

$$S_j = \sum_{i=1}^{2t} T_i S_{j-1}$$

tenglama yordamida dekoder o'ziga ma'lum bo'lgan S_1, S_2, \dots, S_{2t} ketma-ketliklarni hosil qilish uchun, minimal uzunlik L aniqlanadi. L – ketma-ketlikning minimal uzunligi hisoblanadi. U xatolar soniga teng. Lekin aloqa kanalidagi xatolar tasodifiy va teng ehtimolli deb qaraladi.

Endi yuqorida keltirilganlar asosida Berlekemp - Messi algoritmini – $T(x)$ xatolar lokatorlari ko'phadini hisoblashni formula ko'rinishga

keltiramiz: $S_1; S_2; \dots; S_{2t}$ sindrom komponentlari aniqlangan bo'lsin va $T_0(x) = 1, V_0(x) = 1, L_0 = 0$ boshlang'ich shartda

$$\Delta_n = \sum_{j=0}^L T_j S_{n-j} \text{ tenglik o'rinli bo'lsin.}$$

Bu yerda $\Delta_n - GF(2^m), n = 1; 2, \dots, 2t$ maydon elementlari orqali hisoblanuvchi hisoblash xatoligi;

$V(x)$ – qo'shimcha element.

Agar $\Delta_n \neq 0$ va $2L_{n-1} \leq n-1$ shart bajarilsa, u holda $L_n = n - L_{n-1}$

va $B_n(x) = \Delta_n^{-1} * T_{n-1}(x)$ bo'ladi.

Agar $2L_{n-1} \leq n-1$ shart bajarilmasa, u holda $L_n = L_{n-1}$ va

$B_n(x) = x * B_{n-1}(x)$ bo'ladi. U holda $T_{2-t}(x)$ ko'pxad kichik darajali ko'pxad bo'ladi.

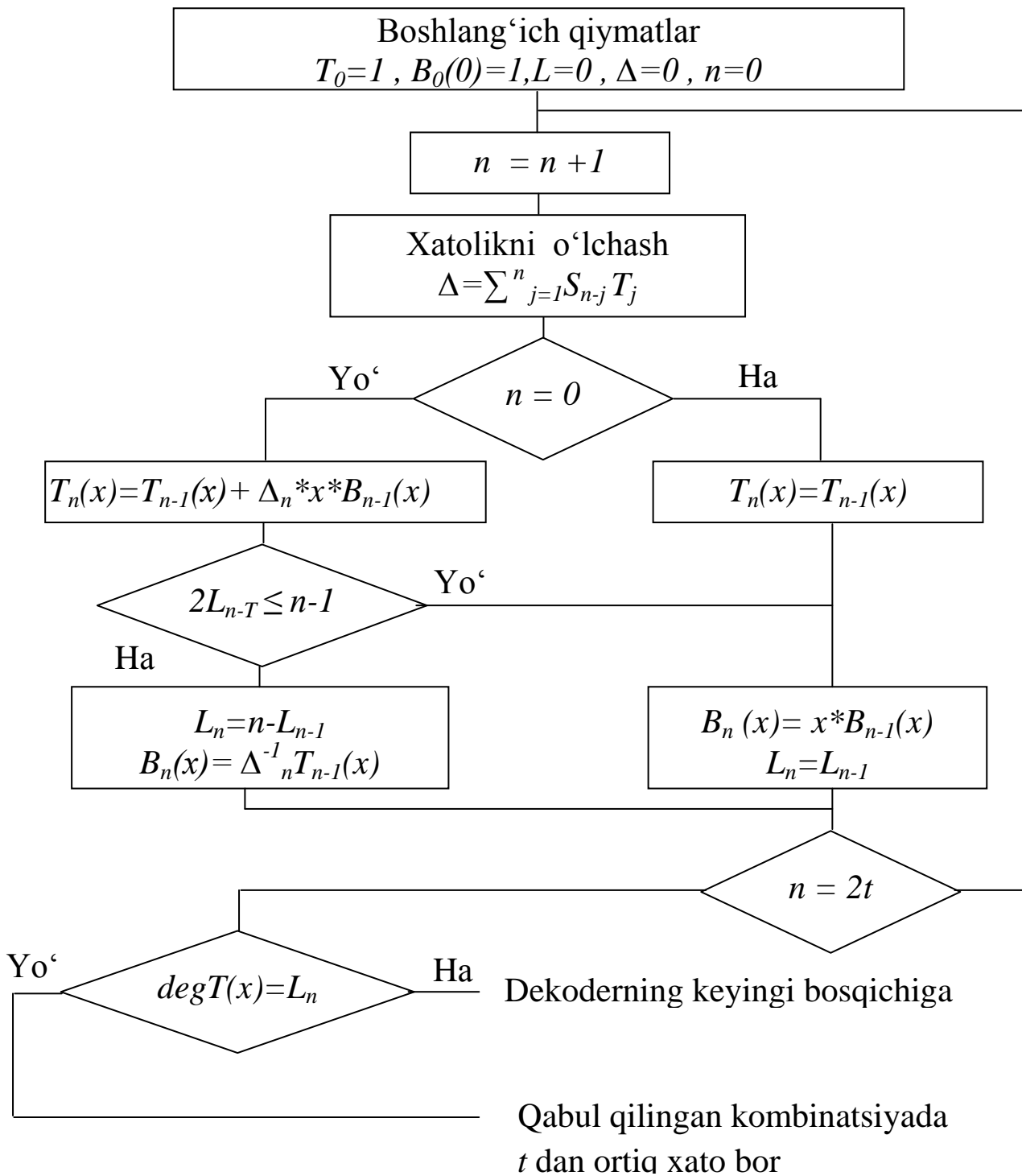
Berlekemp – Messi algoritmining blok-sxemasi 3.11 – rasmda keltirilgan.

Xatolar lokatorlarining ko'phadi hisoblangandan so'ng, xatolar lokatorlarining ko'phadini ildizlari izlanadi. Bu esa Chen protsedurasi orqali amalga oshiriladi. U $GF(2^m)$ maydonning hamma elementlarini $T(x)$ – xatolar lokatorlarining ko'phadiga ketma-ket qo'yib chiqishdan iborat. $T(x)$ ko'phadga qo'yganda uni nolga aylantiradigan $GF(2^m)$ maydonning elementlari, bu ko'phadning ildizlari deyiladi. Xatolar lokatorlarining ko'phadini ildizlariga teskari bo'lgan qiymat – xato sodir bo'lgan pozitsiyalarni bildiradi.

Rid – Solomon kodini dekoderlashning keyingi bosqichi $Y_1; Y_2; Y_t$ xatolar qiymatini topishdan iborat. Xatolar qiymatini topishda Forni algoritmidan foydalaniladi. Bu algoritmnı keltirishdan avval xatolar lokatorlarining ko'phadini quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$T(x) = T_t x^t + T_{t-1} x^{t-1} + \dots + T_1 x + 1$$

ildizlari $x_i^{-1}, i = 1; 2; \dots; t$ dan iborat.



3.11-rasm. Berlekemp – Messi algoritmi

Sindromlar ko'phadini quyidagicha yozamiz:

$$S(x) = \sum_{j=1}^{2t} S_j X^j = \sum_{j=1}^{2t} \sum_{i=1}^t Y^i X_i^j X^j$$

Endi $S(x)$ – sindromlar ko‘pxadi bo‘yicha $\Omega(x)$ – xatolar qiymatining ko‘phadini yozish mumkin:

$$\Omega(x) = S(x) * T(x) \pmod{x^{2t}}$$

$\pmod{x^{2t}}$ ning ko‘rsatkichi x ga kiruvchi xadlarning darajasi $2t$ dan oshmasligini bildiradi.

Bu ko‘pxadni yana quyidagicha yozish mumkin:

$$\Omega(x) = \sum_{i=1}^t Y_i X_i \prod_{j=1}^i (1 - X_j X)$$

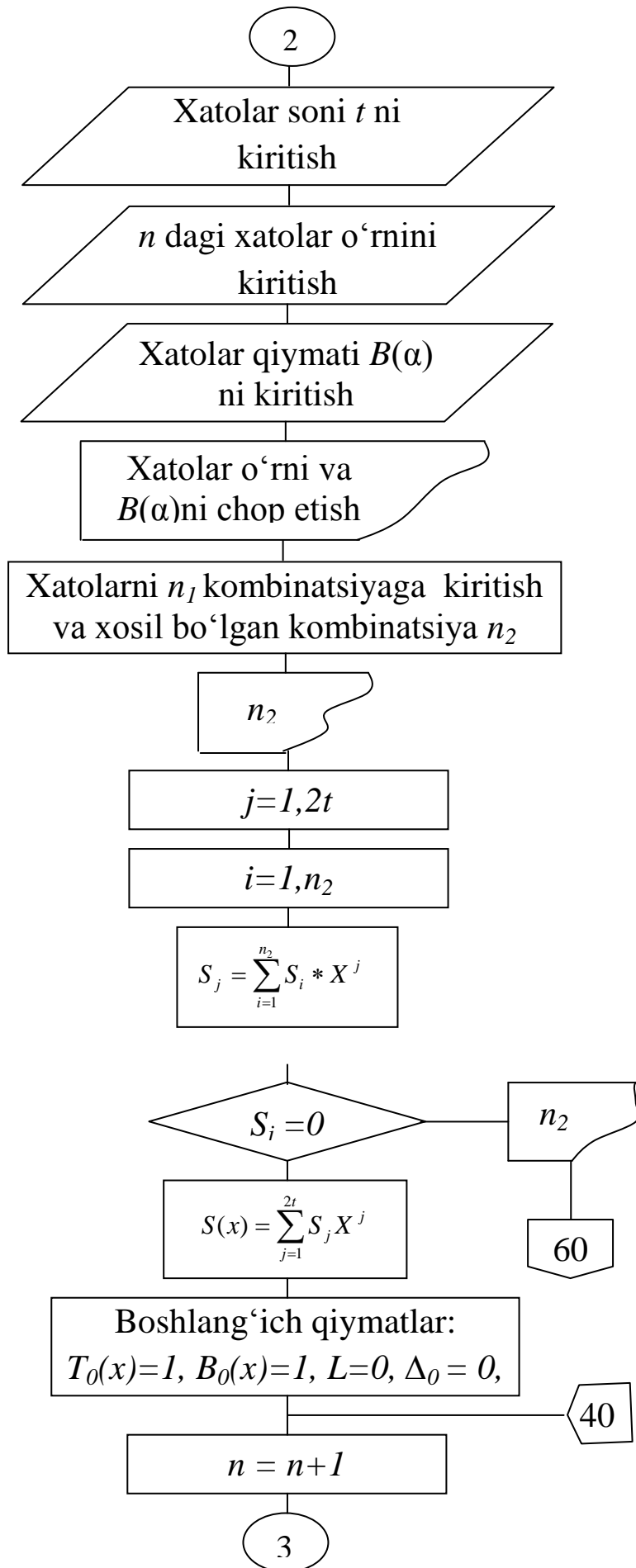
va ushbu ifodadan Y_i ni topish mumkin:

$$Y_i = \frac{\Omega(x)}{T'(x)}$$

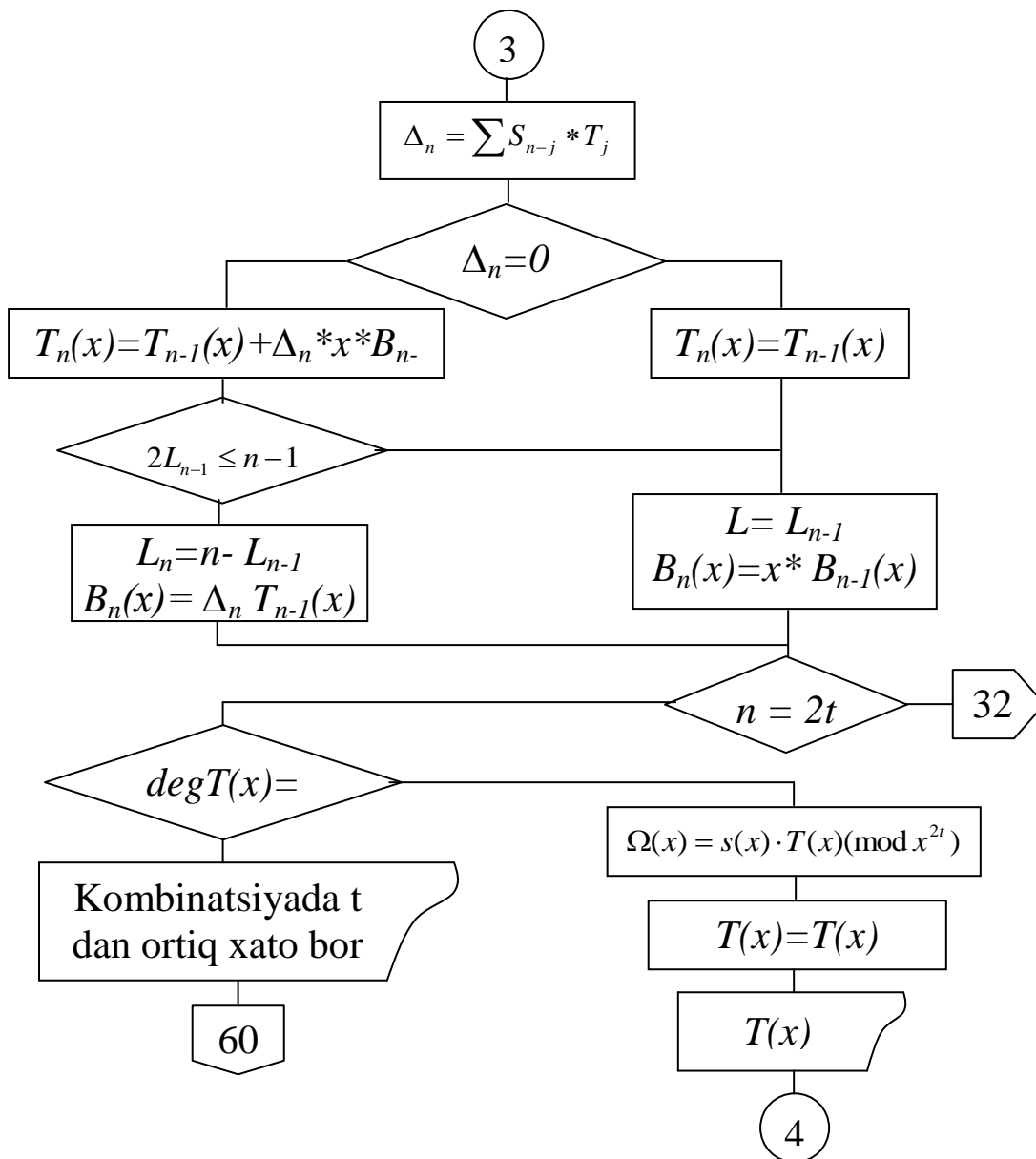
$T'(x) - t(x)$ dan olingan hosila.

Rid-Solomon kodida kodlangan axborotlarni dekodlash algoritmini tushuntirib o‘tamiz. Dekodlash algoritmi (3.12-rasm) quyidagi ketma-ketlik (blok)lardan iborat:

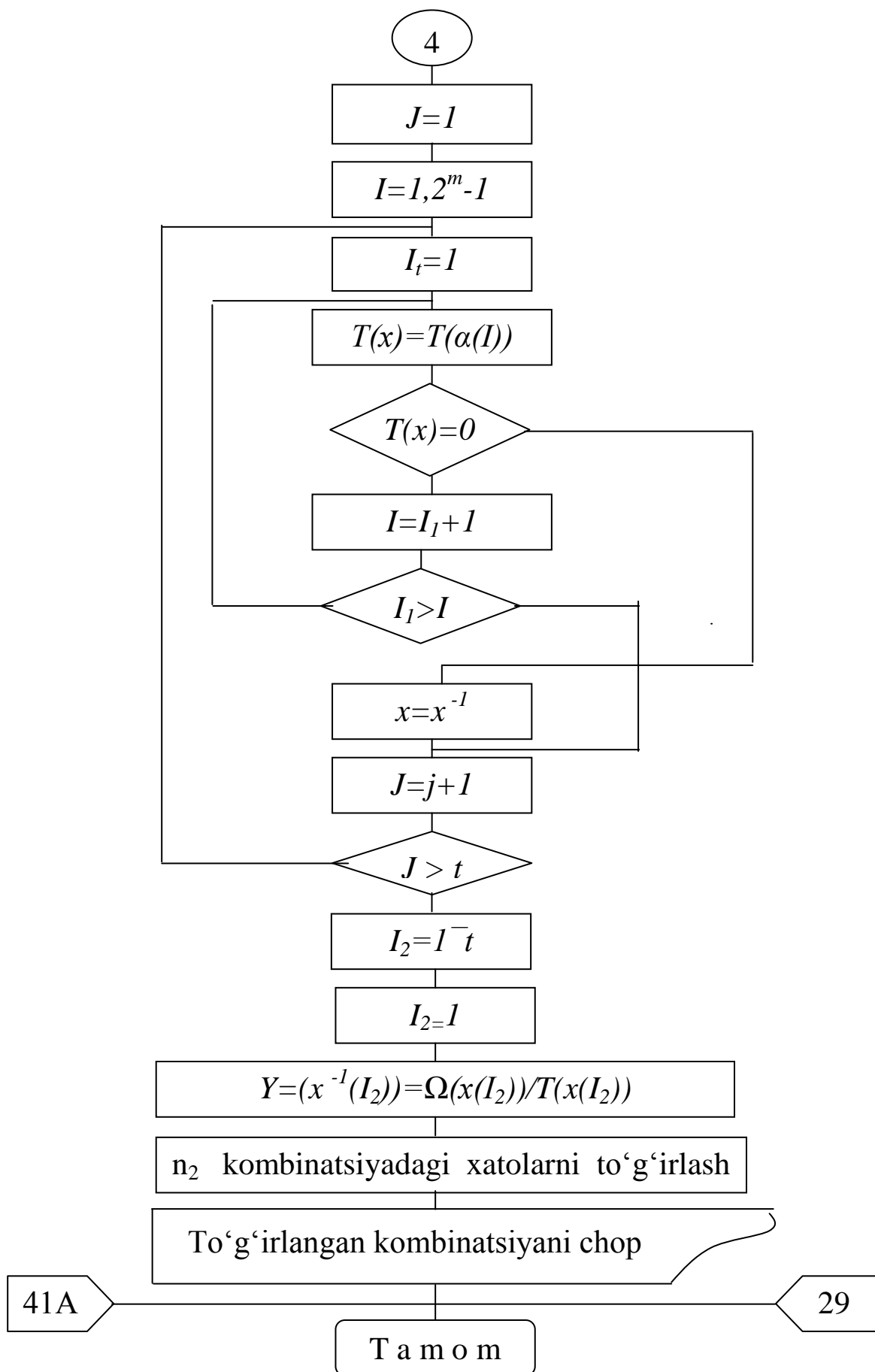
- 1 (19) – $t1$ xatolar soni kiritiladi;
 - 2 (20) – $n1$ kodli kombinatsiyadagi xato o‘rni kiritiladi;
 - 3 (21) – xatolar qiymati $v(d)$ kiritiladi;
 - 4 (22) – xato o‘rni va uning qiymati chop etiladi;
 - 5 (23) – joylashgan o‘rniga bog‘liq holda xatolarni $n1$ kodli kombinatsiyaga kiritiladi va $n2$ kodli kombinatsiya hosil bo‘ladi;
 - 6 (24) – xato kodli kombinatsiya $n2$ chop etiladi.
- Keyingi bosqich – xatolar sindromlari $S(x)$ ni hisoblash.
- 7 (25) – sindromlar soni beriladi;
 - 8 (26) – sindromni tashkil etgan elementlar soni beriladi;



3.12-rasm. Rid-Solomon kodini dekodlash algoritmi



3.12-rasm. Rid-Solomon kodini dekodlash algoritmi (davomi)



3.12-rasm. Rid-Solomon kodini dekodlash algoritmi (davomi)

9 (27) – quyidagi formula bo‘yicha sindromlar qiymatlari S hisoblanadi:

$$S_j = \sum_{i=1}^{n^2} Y_i X_i^j$$

Y – Galua maydoni elementi α ning qiymati;

X – Galua maydoni elementining kodli kombinatsiyada joylashish o‘rni.

10 (28) – sindrom qiymatlari tekshiriladi. Agar hamma sindromlar nolga teng bo‘lsa, unda kombinatsiyada xato yo‘q va 11-blokka o‘tiladi. 11-blokda n^2 kodli kombinatsiyani chop etish bajariladi va dastur ishi yakunlanadi. Agar sindromlarning ixtiyoriy bittasi ham nolga teng bo‘lmasa, unda xato mavjud deb topiladi va uni aniqlash hamda to‘g‘irlash talab etiladi;

12 (30) – sindromlarning ko‘pxadi $S(x)$ hisoblanadi.

Endi Berlekemp-Messi algoritmi bo‘yicha xatolar lokatorlarining ko‘phadini hisoblashga o‘tiladi.

13 (31) – algoritm ishini ta‘minlash maqsadida boshlang‘ich shartlar kiritiladi;

14 (32) – Berlekemp-Messi algoritmi bo‘yicha izlash qadamining nomeri beriladi;

15 (33) – xatolik Δ_n hisoblanadi;

16 (34) – bu xatolik qiymati tekshiriladi. Agar $\Delta_n \neq 0$, u holda $T_n(x)$ ko‘pxad 17-blokda formula bo‘yicha hisoblanadi. Agar $\Delta_n = 0$ bo‘lsa, u holda $T_n(x)$ oldingi ko‘phad $T_{n-1}(x)$ ga teng (18-blok);

19 (37) $2L_{n-1} \leq n-1$ shart tekshiriladi.

L – xatolar soni;

n - izlash qadami.

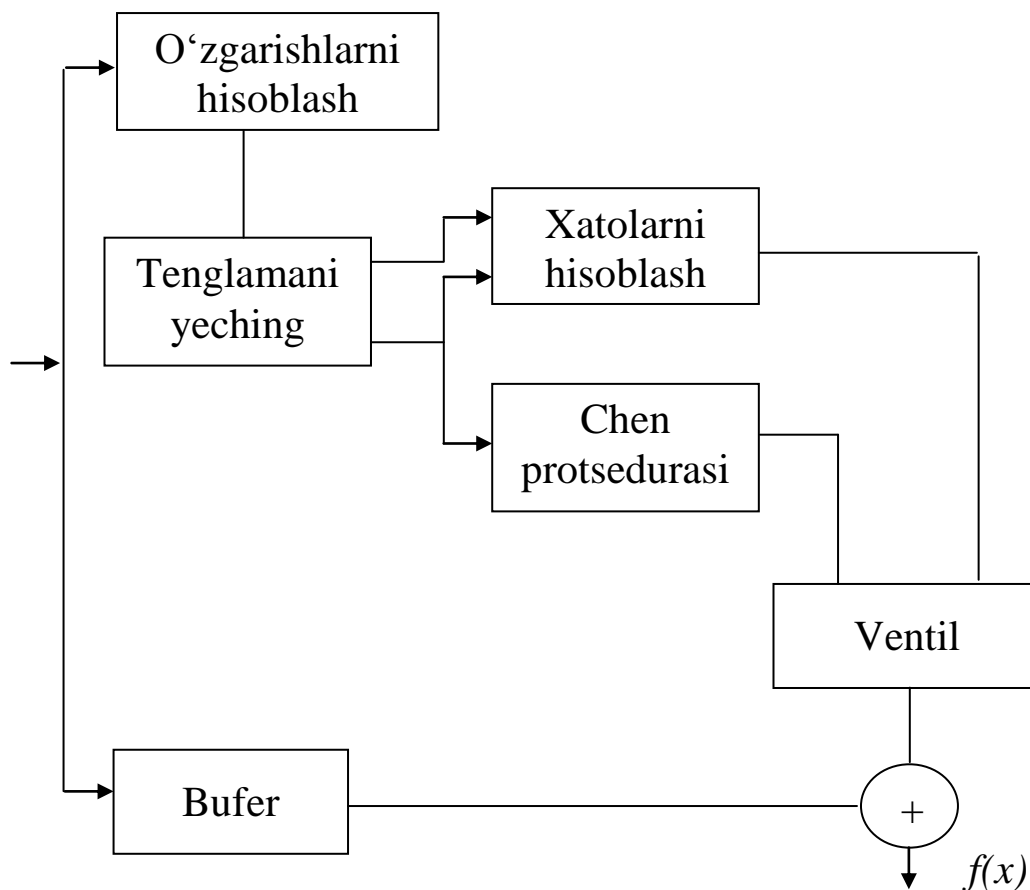
Agar ushbu shart bajarilmasa, xatolar soni L oldingi qiymati (L_{n-1}) ga teng bo‘lib qoladi (21-blok). Agar shart bajarilsa xatolar soni L ortadi (20-blok);

22 (40) $n = 2t$ – xatolar lokatorlarining ko‘phadini izlash qadami $2t$ qiymatdan oshib ketmasligi kerak degan shart tekshiriladi. Agar ushbu shart bajarilsa, u holda 23-blokka o‘tiladi, aks holda 14-blokka;

23 (41) $T(x)$ ko‘phad darajasi tekshiriladi. U topilgan xatolar sonidan oshmasligi kerak. Agar shart bajarilmasa, unda: «Qabul qilingan kombinatsiyada t dan ortiq xato mavjud» - degan xabar chop etiladi va dastur tugallanadi. Agar shart bajarilsa, unda 24-blokka o‘tiladi;

24 (42) – xatolar qiymatlarining ko‘pxadi $\Omega(x)$ hisoblanadi;

- 25 (43) – $T(x)$ ning hosilasi topiladi;
- 26 (44) – natija chop etiladi;
- 27 (45) – Chen protsedurasiga mos ravishda xatolar o‘rnini aniqlash uchun siklning boshi beriladi;
- 28 (46) – xatolar lokatorlarining ko‘phadi $T(x)$ ni ildizlarini topish uchun tekshirishlar soni aniqlanadi;
- 29 (47) – xatolar lokatorlarining ko‘phadi ildizlarini hisoblash uchun Galua maydonining boshlang‘ich elementi beriladi;
- 30 (48) – Xatolar mavjud bo‘lgan pozitsiyalarning nomerlari hisoblanadi. Buning uchun Galua maydonining hamma elementlari navbatma – navbat $T(x)$ ko‘pxadga qo‘yib tekshiriladi;
- 31 (49) – $T(x)$ ko‘phad tekshiriladi. Agar $T(x) = 0$ bo‘lsa, unda ushbu qiymat ildiz deb topiladi va $T(x)$ ko‘phad ildizining teskari qiymati hisoblanadi (34-blok). Bu qiymat esa xato yuz bergan pozitsiya nomerini bildiradi;
- 32 (50) – Galua maydonining navbatdagi elementiga o‘tiladi;
- 33 (51) – $T(x)$ ning ildizlarini topishda Galua maydonining hamma elementlari ishtirok etganligi tekshiriladi;
- 35 (53) – xatolar lokatorlarining ko‘phadini navbatdagi ildizini aniqlashga o‘tiladi;
- 36 (54) – ko‘pxadning hamma ildizlari topilganligi tekshiriladi;
- 37 (55) – xatolar soni beriladi;
- 38 (56) – xatolarning qiymatlarini hisoblash uchun boshlang‘ich element beriladi;
- 39 (57) – xatolarning qiymatlari hisoblanadi;
- 40 (58) – n^2 kombinatsiyadagi xatolarni to‘g‘irlash amalga oshadi. Buning uchun esa hisoblab topilgan xatolarning qiymatlarini kombinatsiyadagi xatolarning qiymatlari bilan o‘zaro *mod m* bo‘yicha qo‘shiladi;
- 41 (59) – to‘g‘irlangan kodli kombinatsiya chop etiladi;
- 42 (60) – dastur ishi yakunlanadi.
- Rid-Solomon kodida kodlangan axborotlar dekoderi 3.13-rasmda blok sxema ko‘rinishida berilgan.



3.13-rasm. Rid-Solomon kodini dekodlash blok-sxemasi

Dekoder kirishiga kodlangan axborot va xatolar vektori yig'indisidan iborat bo'lgan kodli kombinatsiya $F(x)$ kelib tushadi. $F(x)$ kodli kombinatsiya buferda saqlanadi. Shuningdek ushbu $F(x)$ kodli kombinatsiya o'zgarishlarni hisoblash qurilmasiga ham tushadi. Unda sindromlar hisoblanadi. Sindromlardan xatolar lokatorlarining ko'pxadi $T(x)$ ni aniqlovchi tenglamani yechishda foydalaniladi.

Dekoder tenglamani yechish bilan bir vaqtning o'zida hosil qilinuvchi xatolar qiymatlarining ko'pxadi $\Omega(x)$ ni hisoblashni amalga oshiradi.

«Chen prodedurasi»ni bajaruvchi qurilma xatolar o'rnini aniqlaydi. «Xatolarni hisoblash» blokida esa xatolarning qiymatlari aniqlanadi va bu qiymatlar ventil hamda summator yordamida, xatolar mavjud bo'lgan pozitsiyadagi simvollar bilan qo'shiladi. Shu tariqa to'g'irlangan kodli kombinatsiya $f(x)$ summator chiqishida hosil qilinadi.

Nazorat savollari:

1. Rid – Solomon kodini qurish asoslari qanday?
2. Siklik kodlarni qurishda foydalaniladigan $R(x)$ ko'pxad va $GF(P^m)$ maydon elementlarning qanday xossalari mavjud?
3. Maydonning ikkita elementini 0 va 1 orqali belgilasak va qo'shish hamda ko'paytirish amallari qanday amalga oshiriladi?
4. Rid-Solomon kodining qanday parametrlari mavjud?

3.7. Fayra kodi

Fayra kodini qurish asoslari. Bir karralik va ko'p karralik tasodifiy xatolarni to'g'irlovchi kodlarni ishlatish, har doim ham o'zini oqlayvermaydi. Bunga sabab, aloqa kanallariga guruhli shovqinlarning ta'sir qilishidir. Guruhli shovqinlar esa kodli kombinatsiyadagi element (razryad)larni xatolarga uchrashini keltirib chiqaradi. Bu esa xatolar paketi deyiladi.

Misol. Uzatilgan kodli kombinatsiya 10100010001 ko'rinishida bo'lsin. Qabul qilish tomonida bu kodli kombinatsiya 10001010101 ko'rinishda olindi. Bu kombinatsiyalarning razryadlarini o'zaro modul 2 bo'yicha yig'indisini olsak natija quyidagi ko'rinishda bo'ladi: 00101000100. Bundan ko'rinadiki, qabul qilingan kodli kombinatsiyadagi xatolar soni natijaviy kombinatsiyadagi birlar soni (vazni) uchga teng bo'lar ekan.

Xatolar paketining uzunligi v deb – qabul kilingan kodli kombinatsiyadagi eng yuqori xato razryad bilan eng kichik xato razryad orasidagi farqli bir birlikka oshirilganiga aytiladi.

Bizning yuqoridagi misolimizda xatolar paketining uzunligi $v=(9-3)+1=7$ ga teng. Xatolar paketini aniqlash va to'g'irlash uchun ancha effektiv hisoblangan Fayra kodi hozirda qo'llanilmoqda.

Fayra kodi siklik kodlar turkumiga kirib, hamma siklik kodlar kabi u ham ikkita muhim xususiyatga ega: birinchidan, berilgan kodning ixtiyoriy ikkita ruxsat etilgan kombinatsiyasining $mod 2$ bo'yicha yig'indisi, yana ruxsat etilgan kodli kombinatsiyani beradi. Bundan ko'rinadiki, siklik koddagi eng kichik kod masofasi uning kombinatsiyalari ichidan eng kichik vaznlisi orqali aniqlanadi.

Odatda, eng kichik kod masofasini topish uchun, kodli kombinatsiyalarning hamma juftlarini o'zaro $mod 2$ bo'yicha yig'indisini

aniqlaymiz. Yig'indilar ichidan eng kichik vaznlisi eng kichik kod masofasini bildiradi.

Ikkinchi muhim xususiyati, agar ruxsat etilgan kodli kombinatsiyani bitta elementga siklik siljitsak, ya'ni oxirgi pozitsiyadagi elementni birinchi qo'yib, qolganlarini undan keyin joylashtirsak, natijada shu kodga tegishli bo'lgan boshqa ruxsat etilgan kodli kombinatsiya hosil bo'ladi. Masalan: agar kodli kombinatsiya 110101 dan iborat bo'lsa, bitta qadamga siklik siljitish orqali 111010 dan iborat bo'lgan boshqa ruxsat etilgan kombinatsiyani olamiz. Keyingi siljish esa 011101 ni beradi va hokazo.

Hamma siklik kodlar kabi Fayra kodidagi kodli kombinatsiyalarda ham birinchi tekshiruv bitlari keyin axborot bitlar joylashgan bo'ladi. Ya'ni aloqa kanaliga birinchi k axborot bitlar, keyin esa r tekshiruv – bitlari uzatiladi.

Fayra kodini qurishda, kodli kombinatsiyalarni x argumentdan iborat bo'lgan ko'pxad ko'rinishiga keltirish ancha qulayliklarni yuzaga keltiradi. Bu ifodadagi x – sanoq sistema asosini bildiradi.

Ixtiyoriy sanoq sistemasidagi N sonini quyidagicha yozish mumkin:

$$N = K_n b^{n-1} + K_{n-1} b^{n-2} + \dots + K_i b^{i-1} + \dots + K_{2b^1} + K_{1b^0}$$

b - sanoq sistema asosi;

n – sondagi razryadlar miqdori;

K_i - razryaddagi raqam.

Yuqoridagi ifodaga asosan ixtiyoriy sonni x o'zgaruvchi polinom ko'rinishda yozish mumkin.

Masalan, ikkilik sanoq sistemasidagi 101001101 sonni x o'zgaruvchi polinom ko'rinishda yozamiz:

$$G(X) = 1 * x^8 + 0 * x^7 + 0 * x^6 + 0 * x^5 + 0 * x^4 + 0 * x^3 + 0 * x^2 + 0 * x^1 + 0 * x^0$$

$$\text{yoki } G(x) = x^8 + x^6 + x^3 + x^2 + 1$$

So'nggi ikkita ifodani solishtirib, koeffitsienti nol (0) bo'lgan xadlar yozilmasligini ko'ramiz. Undan tashqari ko'pxad darajasi har doim kombinatsiyadagi razryadlar sonidan bittaga kichik bo'ladi.

Kodli kombinatsiyalarni tasvirlovchi ko'phadlarni ko'paytirish va bo'lish oddiy algebraik qoida asosida bajarilsa, qo'shish esa $mod 2$ bo'yicha amalga oshiriladi:

$$\begin{aligned}\tilde{\sigma}^i \oplus \tilde{\sigma}^i &= 0, & \tilde{\sigma}^i \oplus \tilde{\sigma}^i \oplus \tilde{\sigma}^i &= \tilde{\sigma}^i, & -\tilde{\sigma}^i &= \tilde{\sigma}^i, \\ \tilde{\sigma}^i - \tilde{\sigma}^j &= \tilde{\sigma}^i \oplus \tilde{\sigma}^j, & \tilde{\sigma}^i \oplus 0 &= \tilde{\sigma}^i\end{aligned}$$

Masalan: $1 \oplus 1 = 0$, $1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$, $1 \oplus 0 = 1$.

Siklik kodlar yasovchi (hosil qiluvchi) polinom bilan harakatlanadi. Kodlashtirish bevosita yasovchi polinom orqali hosil qilinadi. Shu sababli ushbu polinom hosil qiluvchi, yasovchi polinom deyiladi. Yasovchi polinom darajasi $r=n-k$ ga teng bo‘ladi. Yasovchi polinomning ko‘rinishi va uning darajasi siklik kodning korrektorlash qobiliyatini ifodalaydi.

Yasovchi polinom sifatida keltirilmaydigan ko‘phadlar olinadi. Keltirilmaydigan ko‘phad deb – faqat o‘ziga va birga qoldiqsiz bo‘linadigan polinomlarga aytiladi. Ya’ni bunday polinomlarni ko‘paytuvchilarga ajratib bo‘lmaydi. Quyida beshinchi darajagacha bo‘lgan keltirilmaydigan polinomlar ko‘rsatilgan:

$$\begin{aligned}P(x^1) &= x+1; \\ P(x^2) &= x^2 + x+1; \\ P(x^3) &= x^3 + x+1; \\ P(x^3) &= x^3 + x^2 + 1; \\ P(x^4) &= x^4 + x + 1; \\ P(x^4) &= x^4 + x^3 + x^2 + x + 1; \\ P(x^5) &= x^5 + x^2 + 1; \\ P(x^5) &= x^5 + x^3 + 1; \\ P(x^5) &= x^5 + x^3 + x^2 + x + 1; \\ P(x^5) &= x^5 + x^4 + x^3 + x + 1; \\ P(x^5) &= x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1.\end{aligned}$$

Siklik kodning alohida jihatlaridan biri, uning hamma kodli kombinatsiyalarini yasovchi polinomga qoldiqsiz bo‘linishidir. Xatoga uchragan kodli kombinatsiyani yasovchi polinomga bo‘lganda, albatta qoldiq hosil bo‘ladi. Demak, yasovchi polinomga bo‘lish natijasida qoldiq hosil bo‘lmaydigan kodli kombinatsiyaga, siklik kodning ruxsat etilgan kodli kombinatsiyasi deb ataladi. Aks holda esa ta’kidlangan yoki man qilingan kodli kombinatsiya deyiladi.

Siklik kodning bunday xususiyatidan xatolarni aniqlash va to‘g‘irlashda foydalaniladi. Ma’lumki, uzatiladigan kodli kombinatsiyaga shovqin ta’sir etishi natijasida u man qilingan kombinatsiyaga aylanadi. Bunday kombinatsiyani yasovchi polinomga bo‘lganda qoldiq hosil

bo'ladi. Bu esa xato yuz berganligini bildiradi. Demak yasovchi polinomga bo'lishdan hosil bo'lgan qoldiq orqali xatolar aniqlanadi.

Axborotlarni Fayra kodida kodlashtirish usullari. Uzatish kanaliga impuls xarakteridagi shovqin ta'sir etishi natijasida xatolar paketi hosil bo'ladi. Bu impuls davomiyligi bitta razryad davomiyligidan katta bo'ladi. Natijada hosil bo'lgan xatolar paketining davomiyligi shovqin davomiyligiga mos bo'lib, bunday shovqin tasodifiy bo'lmagan shovqin hisoblanadi.

Bir karralik bunday xatolar paketini aniqlash va to'g'irlash uchun Fayra kodi qo'llaniladi.

Fayra kodini yasovchi polinom quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$P(x) = g(x)(x^0 + 1)$$

$g(x) - m$ - darajaga tegishli bo'lgan;

t - darajali keltirilmaydigan ko'pxad;

$s - m$ ga karralik bo'lmagan butun son;

$g(x) - m$ - darajaga tegishli deyiladi, agar $m - x^m + 1$ ikkixad $g(x)$ qoldiqsiz bo'linadigan eng kichik musbat son bo'lsa.

Ixtiyoriy t uchun $m = 2^t - 1$ darajaga tegishli bo'lgan faqat bitta t darajali $R(x)$ polinom mavjud. Masalan: $t = 3, m = 2^3 - 1 = 7$

$$R(x) = x^3 + x^2 + 1$$

$$\frac{\tilde{\sigma}^m + 1}{D(\tilde{\sigma})} = \frac{\tilde{\sigma}^7 + 1}{\tilde{\sigma}^3 + \tilde{\sigma}^2 + 1}; \quad R(\tilde{\sigma}) = 0$$

Ya'ni $R(x) = x^3 + x^2 + 1$ ko'pxad $m = 7$ darajaga tegishli bo'lgan polinom. Bu holatda s soni m ga karralik bo'lmagan, ya'ni qoldiqsiz bo'linmaydigan quyidagi sonlar bo'lishi mumkin: 15, 16, 17, 18, 19, 20 va hokazo.

t darajali keltirilmaydigan polinom deb - darajasi t dan kichik bo'lgan hech qaysi polinomga qoldiqsiz bo'linmaydigan ko'phadga aytiladi.

Chekli maydonning β elementining m - tartibi deb $\beta^m = 1$ bo'ladigan m ning eng kichik qiymatiga aytiladi, β esa $x^m - 1$ ko'pxadning ildizi hisoblanadi.

Fayra kodining uzunligi s va m sonlarining EKUKga teng bo'ladi:

$$n = EKUK(s, m)$$

Tekshiruv razryadlarining soni quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$r = c + t$$

Axborot bitlarining soni esa quyidagiga teng:

$$k = n - c - t$$

To'g'irlanadigan xatolar paketining uzunligi v quyidagi tengsizlikni qanoatlantiradi:

$$t \geq v, \quad c \geq 2v - 1$$

Fayra kodi bir vaqtning o'zida v uzunlikdagi hamda undan kichik bo'lgan xatolar paketini to'g'irlashi va $d \geq v$ uzunlikdagi xatolar paketini aniqlashi mumkin:

$$s \geq v + \alpha - 1, \quad t \geq v$$

$R(x)$ yasovchi ko'pxaddagi $x^s + 1$ ko'paytuvchi s uzunlikdagi xatolar paketini aniqlashi va uzunligi v dan oshmaydigan xatolar paketining to'liq qiymatini aniqlashi mumkin.

Xatolar paketini joylashishi va holati to'g'risidagi ma'lumot esa $g(x)$ ko'paytuvchi yordamida aniqlanadi. Demak $R(x)$ yasovchi ko'pxaddagi hadlar mos ravishda bir karralik xatolar paketini tegishli qiymatini, holatini, joyini aniqlash imkonini beradi.

Misol: $k = 63$, $v = 3$, $\alpha = 9$ ya'ni uzunligi $v = 3$ ga teng va undan kichik bo'lgan xatolar paketini to'g'irlovchi hamda bir vaqtning o'zida uzunligi $\alpha = 9$ ga teng va undan kichik bo'lgan xatolar paketini aniqlovchi kodni ko'rish kerak bo'lsin. U holda:

$$t \geq v = 3, \quad c \geq v + \alpha - 1 = 3 + 9 - 1 = 11$$

tengsizlik o'rinli bo'ladi. Bu holatda 3-darajali keltirilmaydigan polinomni tanlab olamiz:

$$g(x) = x^3 + x^2 + 1$$

$m = 2^t - 1 = 7$, c va m sonlarining kichik karralisi quyidagiga teng bo'ladi:

$$n = EKUK(c, m) = EKUK(7, 77) = 77$$

Kodni yasovchi polinom quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$R(x) = (x^3 + x^2 + 1)(x^{11} + 1)$$

Shunday qilib, uzunligi $v = 3$ va undan kichik bo'lgan xatolar paketini to'g'irlovchi hamda bir vaqtning o'zida uzunligi $\alpha = 9$ va undan kichik bo'lgan xatolar paketini aniqlovchi Fayra kodi $n = 77$, $k = 63$, $c + t = r = 14$ kattaliklardan iborat.

Fayra kodi siklik kodlar sinfiga kiradi. Shuning uchun u siklik koddagi xususiyatlarga ega. Shu jumladan, Fayra kodida kodlashtirish jarayoni ham siklik kodlarini kodlashtirish jarayoni kabi amalga oshadi.

Axborotlarni Fayra kodida kodlashtirish ikki xil usulda amalga oshiriladi:

1. Oddiy kodning k - elementli kombinatsiyasini $R(x)$ yasovchi polinomga ko'paytirish orqali kodlashtirish:

$$F(x) = Q(x)P(x)$$

2. Oddiy kodli kombinatsiyani x^r xadga ko'paytirib, ko'paytmaga uni $R(x)$ yasovchi polinomga bo'lish natijasida hosil bo'lgan qoldiqni qo'shish orqali:

$$F(x) = G(x) * x^r + R(x)$$

$$\text{Ya'ni} \quad \frac{G(\tilde{\sigma}) \cdot \tilde{\sigma}^r}{P(\tilde{\sigma})} = Q(\tilde{\sigma}) + \frac{R(\tilde{\sigma})}{D(\tilde{\sigma})}$$

$$G(x) * x^r = Q(x) * P(x) + R(x)$$

$$F(x) = G(x) * x^r + R(x) = Q(x) * P(x)$$

$F(x)$ – Fayra kodining polinomli ko'rinishi.

Fayra kodi asos qilib olingan kodli kombinatsiyalarni muayyan tarzda tanlab olish orqali hosil qilinadi. Bu kodli kombinatsiyalar esa matritsa ko'rinishida yozilib, shu matritsa orqali Fayra kodining tegishli kodli kombinatsiyalari hosil qilinadi. n ta ustun va k ta qatordan iborat bo'lgan bunday matritsa hosil qiluvchi matritsa deyiladi.

Ikkinchi usul bo'yicha kodlashtirish uchun, hosil qiluvchi matritsani tuzishni qarab chiqamiz. Bunday matritsaning qatorlarini tuzishda faqat bitta razryadida bir ishtirok etgan $G(x)$ oddiy kodli kombinatsiyalar olinadi. Aynan shu kodli kombinatsiyalar x^r ga ko'paytirilib, yasovchi polinomga bo'linadi:

$$\frac{G_i(x) * x^r}{P(x)}$$

va natijada $R_i(x)$ qoldiqlar topiladi. Matritsaning tegishli qatorlari $G_i(x) * x^r + R_i(x)$ ko‘rinishda yoziladi. Bunday matritsa ikkita qism matritsaga bo‘linadi:

$$G_{n,k} = \left| E_k^t, C_{r,k} \right|$$

E_k^t - transponirlangan birlik matritsa;

$C_{r,k}$ - $R_i(x)$ qoldiqlardan iborat bo‘lgan r ustun va k qatorli qism matritsa.

Hosil qiluvchi matritsa $G_{n,k}$ k ta kodli kombinatsiyani bevosita hosil qilish imkonini beradi. Qolgan $2^k - k - 1$ ta kodli kombinatsiya hosil qiluvchi matritsa qatorlarini $mod 2$ bo‘yicha qo‘shish orqali aniqlanadi.

Misol. $n = 9, k = 4$ parametrli Fayra kodini qurishni ko‘rib chiqamiz. Bu kodni ko‘rish uchun quyidagi ko‘rinishdagi

$$P(x) = (x^2 + x + 1)(x^3 + 1) = x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1$$

yasovchi polinomni tanlaymiz. U holda $t = 2, m = 2^t - 1 = 3, c = 3, r = c + t = 5$ bo‘ladi. Hosil qiluvchi matritsa quyidagi ko‘rinishga ega:

$$G_{9,4} = \left| E_4^t, C_{5,4} \right|$$

E_4^t transponirlangan matritsa quyidagiga teng:

$$E_4^t = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$C_{5,4}$ matritsani tuzish uchun o‘ng tomoni nollar bilan to‘ldirilgan 1 ni yasovchi polinomga bo‘lish natijasida hosil bo‘lgan qoldiqlardan foydalaniladi.

$$\begin{array}{r}
100000000 \mid 111111 \\
\underline{111111} \quad \mid \underline{1100} \\
1\text{-КОЛДИК} \rightarrow 111110 \\
\underline{111111} \\
2\text{-КОЛДИК} \rightarrow 000010 \\
\underline{000000} \\
3\text{-КОЛДИК} \rightarrow 000100 \\
\underline{000000} \\
4\text{-КОЛДИК} \rightarrow 00100
\end{array}$$

$C_{5,4}$ quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$C_{5,4} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

Umumiy holatda (9,4) Fayra kodini hosil qiluvchi matritsa quyidagicha yoziladi:

$$G_{9,4} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

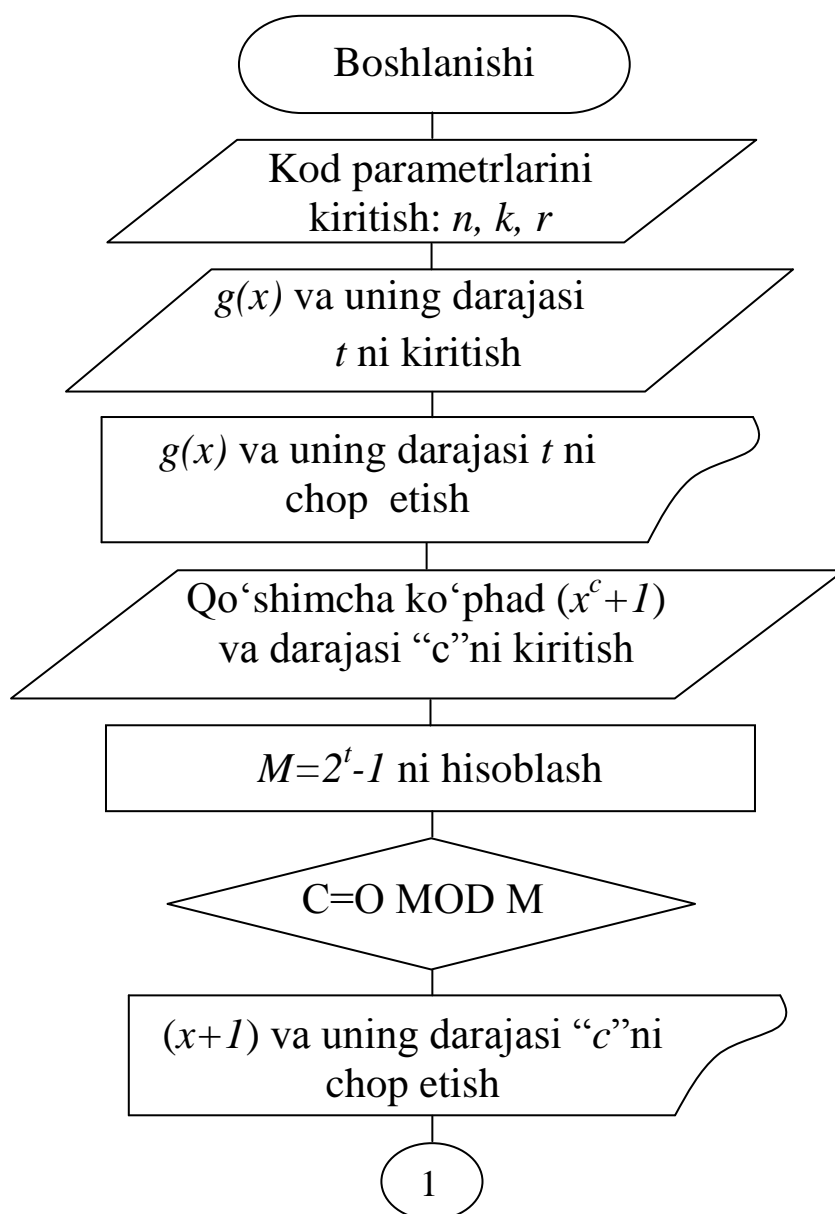
$G_{9,4}$ matritsa orqali istalgan 4-razryadli axborotlarni kodlashtirish mumkin.

Masalan $G(x) = x^3 + x^2 + 1 \rightarrow 1011$ ni kodlashtirish kerak bo‘lsin. Buning uchun $G_{9,4}$ matritsaning 1, 2, 4 chi qatorlari o‘zaro *mod 2* bo‘yicha qo‘shiladi:

$$000111111 \oplus 001000001 \oplus 100000100 = 101111010 \text{ yoki}$$

$$F(x) = x^8 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x$$

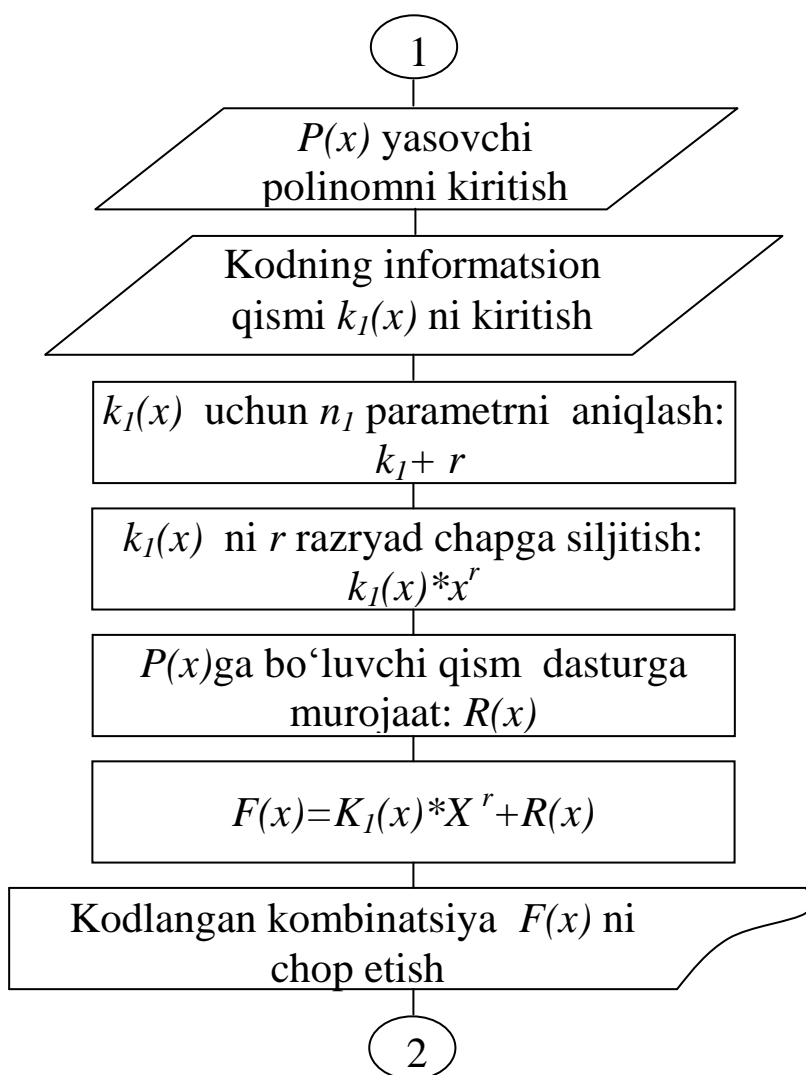
Fayra kodida kodlashtirish algoritmi 3.14 rasmda keltirilgan. U quyidagi bosqichlardan (bloklardan) iborat:



3.14-rasm. Fayra kodida kodlashtirish algoritmi

- 1) Fayra kodi parametrlari n, k, r lar kiritiladi.
- 2) $g(x)$ keltirilmaydigan ko'phad va k ning darajasi t kiritiladi;
- 3) Kiritilgan $g(x)$ va uning darajasi t chop etiladi;
- 4) Qo'shimcha ko'pxad $(x^c + 1)$ va uning darajasi c kiritiladi;
- 5) M ning qiymati $M = 2^t - 1$ formula bo'yicha hisoblanadi;
- 6) C sonini hisoblab chiqarilgan M soniga karraliligi tekshiriladi. Agar karralik bo'lsa, 4-blokka o'tiladi. Unda $(x^c + 1)$ ko'pxad va uning darajasi s qaytadan kiritiladi. Agar shart bajarilmasa, keyingi 7-blokka o'tiladi;
- 7) Kiritilgan $(x^c + 1)$ va uning darajasi c chop etiladi;
- 8) $P(x)$ yasovchi polinom kiritiladi;

- 9) Kiritilgan $P(x)$ polinom chop etiladi;
- 10) Kodning axborot qismi $k_I(x)$ kiritiladi;
- 11) $k_I(x)$ kombinatsiyaga muvofiq n_I parametr $n_I = k_I + r$ formulaga asosan aniqlanadi;
- 12) $k_I(x)$ ni r razryad chapga siljitish ishi bajariladi;
- 13) Hosil bo'lgan kombinatsiya $P(x)$ yasovchi polinomga bo'linadi va $R(x)$ qoldiq hosil qilinadi;
- 14) Hosil bo'lgan $R(x)$ qoldiq $k_I(x)$ axborot qismga birlashtiriladi;
- 15) Kodlangan axborot chop etiladi.



3.14-rasm. Fayra kodida kodlashtirish algoritmi (davomi)

Fayra kodida kodlashtirilgan axborotlarni dekodlash usullari.

Fayra kodi, n – elementli kodli kombinatsiyada hosil bo'luvchi, uzunligi v va undan kichik bo'lgan bir karralik xatolar guruhini to'g'iraydi va bir

vaqtning o'zida uzunligi $\alpha \geq \nu$ bo'lgan bir karralik xatolar guruhini aniqlaydi.

Fayra kodida kodlashtirilgan axborotlarni dekodlashning ikki xil usuli mavjud. Ularning har birini alohida qarab chiqamiz:

1 usul. $f(x)$ uzatilgan kodli kombinatsiyaga $x^i B(x)$ ko'rinishdagi xatolar paketi ta'sir qilsin.

$B(x)$ – xatolar paketini ifodalovchi ko'phad;

x^i - xatolar paketi boshlangan razryad.

Agar qabul qilingan kodli kombinatsiya $P(x)$ yasovchi polinomga qoldiqsiz bo'linsa, demak uzatilgan kombinatsiya to'g'ri qabul qilingan yoki xatolar aniqlanmay qolgan. Aks holda esa, uzatilgan kodli kombinatsiya xato qabul qilingan hisoblanadi va uni aniqlash hamda to'g'irlash talab etiladi. Demak, qoldiq noldan farqli bo'lsa, u holda qabul qilingan kombinatsiyada quyidagi ko'rinishdagi xatolar mavjud bo'ladi:

$$\{x^i B(x) = g(x) * S(x) + R(x)\}$$

$R(x)$ – darajasi $(n - k)$ dan kichik bo'lgan qoldiq ko'phad.

Xatolarni to'g'irlash uchun $R(x)$ qoldiq ko'rinishiga qarab $x^i B(x)$ ni topish talab etiladi. Shundan so'ng qabul qilingan vektor va $x^i B(x)$ larni o'zaro $mod 2$ bo'yicha qo'shish orqali xatolar to'g'irlanadi. Agar $x^i B(x)$ to'g'irlanadigan xatolar paketining k – sinfiga kirsam, u holda $\{x^i B(x)\} = \{x^{n-1} * R_1(x)\}$ ko'rinishda bo'ladi.

Bu yerda $\{R_1(x)\} = \{x^j * R(x)\}$ va $i = n - j$ bilan ifodalanadi.

Xatolar vektori sifatida $R_1(x)$ qoldiq olinadi va bu kombinatsiya qabul qilingan kodli so'zning $(n - l)$ – razryadidan boshlanadi deb qaraladi. Bu usuldagi dekodlash algoritmi quyidagi ketma-ketlik asosida olib boriladi:

– qabul qilingan kodli kombinatsiya $R(x)$ ga bo'linadi. Natija qoldiqsiz chiqsa demak, kombinatsiya xatosiz qabul qilingan yoki xato aniqlanmay qolgan. Agar $R(x)$ qoldiq hosil bo'lsa navbatdagi bosqichga o'tiladi;

– hosil bo'lgan $R(x)$ qoldiq $\delta^i (i = \overline{1, n})$ ga ko'paytiriladi va $P(x)$ ga bo'linadi;

– $R_1(x)$ qoldiqning to'g'irlanadigan kombinatsiya bo'lishi tekshiriladi.

$x^i R(x)$ ni $P(x)$ ga bo'lish, i ning $R_1(n)$ qoldiq to'g'irlanadigan kombinatsiya bo'lgunga qadar davom ettiriladi. Lekin bu operatsiya n martadan oshmasligi kerak. To'g'irlanadigan kombinatsiyaning hosil bo'lmasligi esa, qabul qilingan kombinatsiyaning buzilish darajasi, kodning to'g'irlash imkoniyatidan oshib ketganligidan dalolat beradi;

– agar i qadamdan so‘ng $R_I(x)$ qoldiq to‘g‘irlanadigan holatga kelsa, u holda xatolarni to‘g‘irlash uchun, qabul qilingan kombinatsiyaga hosil bo‘lgan qoldiqni $j = (n - i)$ razryaddan boshlab $\text{mod } 2$ bo‘yicha qo‘shish kerak.

2 usul. Dekodlashning eng muhim bo‘lgan ikkinchi usulini ko‘rib o‘tamiz. Aloqa kanaliga uzunligi ν dan oshmaydigan bir karralik xatolar paketi ta’sir etsin. Aloqa kanali chiqishida quyidagi xato sodir bo‘lgan kombinatsiya olinadi:

$$F(x) = f(x) + x^i B(x)$$

$f(x) - P(x)$ ga bo‘linadigan uzatilgan kombinatsiyaning polinomi;

$B(x)$ – xatolar paketiga mos keluvchi darajali ko‘phad;

i – kodli kombinatsiyadagi xatolar paketi boshlangan razryad.

Bu usulda dekodlash quyidagi bosqichlarda olib boriladi:

– qabul qilingan polinom $F(x)$ ni $P(x)$ yasovchi ko‘pxadning ko‘paytuvchilari $g(x)$ va $(x^s + 1)$ larga bo‘lib, $B_1(x)$ va $B_2(x)$ qoldiqlar aniqlanadi;

– $B_1(x)$ va $B_2(x)$ polinomlar x ning ketma-ket darajalariga ko‘paytiriladi va har qadamda $g(x)$ hamda $(x^c + 1)$ polinomlarga bo‘lish natijasida hosil bo‘luvchi qoldiqlar hisoblanadi. Bu holda har safar yangi hosil bo‘lgan qoldiqlar o‘zaro solishtiriladi;

– bosqich yuqorida aytilgan qoldiqlar o‘zaro tenglashgunga qadar davom ettiriladi. O‘zaro mos kelgan qoldiq esa xatolar paketining ko‘rinishini bildiradi. Xatolar paketining joylashgan o‘rni I ni topish uchun esa tengliklar nazariyasi apparatidan foydalaniladi.

Ko‘paytirilgan x^i va x^j ning i va j daraja ko‘rsatkichlarida, qoldiqlar o‘zaro mos kelsin. Unda xatolar paketi boshlangan razryad I quyidagicha topiladi:

$$I \equiv - (i D_1 + j D_2) \text{ mod } n$$

bu yerda $D_1 \equiv 1 \text{ mod } m; D_1 \equiv 0 \text{ mod } s;$

$D_2 \equiv 0 \text{ mod } s; D_2 \equiv 1 \text{ mod } m$

– xatoni to‘g‘irlash uchun qabul qilingan $F(x)$ kombinatsiyaga aniqlangan $x^I B(x) \text{ mod } 2$ bo‘yicha qo‘shiladi.

Ikkinchi usulda keltirilgan algoritmnı tushuntirish uchun quyidagi misolni keltiramiz:

$$P(x) = (x^4 + x + 1)(x^7 + 1) = x^{11} + x^8 + x^7 + x^4 + x + 1$$

Yasovchi polinom uzunligi $B=4$ va undan kichik bo'lgan xatolar paketini to'g'irlovchi Fayra kodini hosil qiladi. Berilgan $P(x)$ yasovchi polinomli Fayra kodining parametrlari quyidagilar:

$$t = 4, m = 15, c = 7, n = 105, k = 94.$$

Aloqa kanali orqali quyidagi

$$f(x) = x^{31} + x^{28} + x^{27} + x^{24} + x^{21} + x^{20} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^3 + x + 1$$

kodli kombinatsiya uzatiladi. Kanalda esa $B(x) = x^{19}(x^3 + x + 1)$ xatolar paketi hosil bo'ldi va kanal chiqishidagi polinom quyidagi ko'rinishga keldi:

$$F(x) = f(x) + x^I B(x) = x^{31} + x^{28} + x^{27} + x^{24} + x^{22} + x^{21} + x^{19} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^3 + x + 1$$

$F(x)$ ni $g(x) = x^4 + x + 1$ va $(x^c + 1) = x^7 + 1$ larga bo'lib qoldiqlarni aniqlaymiz:

$$\begin{array}{l} x^{31} + x^{28} + x^{27} + x^{24} + x^{22} + x^{21} + x^{19} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^3 + x + 1 \quad | \quad \underline{x^4 + x + 1} \\ \hline x^{31} + x^{28} + x^{27} \quad | \quad \underline{x^{27} + x^{20} + x^{18} + x^{16} + x^{14} + x^{13} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^4 + x + 1} \\ \hline x^{24} + x^{22} + x^{21} + x^{19} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^3 + x + 1 \\ \hline x^{24} + x^{22} + x^{21} \\ \hline x^{22} + x^{20} + x^{19} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^3 + x + 1 \\ \hline x^{22} + x^{19} + x^{18} \\ \hline x^{20} + x^{18} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^3 + x + 1 \\ \hline x^{20} + x^{17} + x^{16} \\ \hline x^{18} + x^{17} + x^{16} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^3 + x + 1 \\ \hline x^{18} + x^{15} + x^{14} \\ \hline x^{17} + x^{16} + x^{15} + x^{10} + x^8 + x^3 + x + 1 \\ \hline x^{17} + x^{14} + x^{13} \\ \hline x^{16} + x^{15} + x^{14} + x^{13} + x^{10} + x^8 + x^3 + x + 1 \\ \hline x^{16} + x^{13} + x^{12} \\ \hline x^{15} + x^{14} + x^{12} + x^{10} + x^8 + x^3 + x + 1 \\ \hline x^{15} + x^{12} + x^{11} \\ \hline x^{14} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^3 + x + 1 \\ \hline x^{14} + x^{11} + x^{10} \\ \hline x^8 + x^3 + x + 1 \\ \hline x^8 + x^5 + x^4 \\ \hline x^5 + x^4 + x^3 + x + 1 \\ \hline x^5 + x^2 + x \\ \hline x^4 + x^3 + x^2 + 1 \\ \hline x^4 + x + 1 \\ \hline x^3 + x^2 + x = B_1(x) \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
x^{31}+x^{28}+x^{27}+x^{24}+x^{22}+x^{21}+x^{19}+x^{14}+x^{10}+x^8+x^3+x+1 \\
\hline
x^{31}+x^{24} \\
\hline
x^{28}+x^{27}+x^{22}+x^{21}+x^{19}+x^{14}+x^{10}+x^8+x^3+1 \\
\hline
x^{28}+x^{21} \\
\hline
x^{27}+x^{22}+x^{19}+x^{14}+x^{10}+x^8+x^3+x+1 \\
\hline
x^{27}+x^{20} \\
\hline
x^{22}+x^{20}+x^{19}+x^{14}+x^{10}+x^8+x^3+x+1 \\
\hline
x^{22}+x^{15} \\
\hline
x^{20}+x^{19}+x^{15}+x^{14}+x^{10}+x^8+x^3+x+1 \\
\hline
x^{20}+x^{13} \\
\hline
x^{19}+x^{15}+x^{14}+x^{13}+x^{10}+x^8+x^3+x+1 \\
\hline
x^{19}+x^{12} \\
\hline
x^{15}+x^{14}+x^{13}+x^{12}+x^{10}+x^8+x^3+x+1 \\
\hline
x^{15}+x^8 \\
\hline
x^{14}+x^{13}+x^{12}+x^{10}+x^8+x^3+x+1 \\
\hline
x^{14}+x^7 \\
\hline
x^{13}+x^{12}+x^{10}+x^7+x^3+x+1 \\
\hline
x^{13}+x^6 \\
\hline
x^{12}+x^{10}+x^7+x^6+x^3+x+1 \\
\hline
x^{12}+x^5 \\
\hline
x^{10}+x^7+x^6+x^5+x^3+x+1 \\
\hline
x^{10}+x^3 \\
\hline
x^7+x^6+x^5+x+1 \\
\hline
x^7+1 \\
\hline
x^6+x^5+x = B_2(x)
\end{array}
\left| \begin{array}{l}
x^7+1 \\
\hline
x^{24}+x^{21}+x^{20}+x^{15}+x^{13}+x^{12}+x^8+x^7+x^6+x^5+x^3+1
\end{array} \right.$$

Demak bo‘lish natijasida hosil bo‘lgan qoldiqlar

$$B_1(x)=x^3+x^2+x, \quad B_2(x)=x^6+x^5+x \text{ ga teng.}$$

2) Hosil bo‘lgan qoldiqlar tenglangunga qadar ko‘paytirilishi zarur bo‘lgan x^i va x^j larning i va j daraja ko‘rsatkichlari aniqlanadi:

$$x^{11} B_1(x) = x^{11} (x^3+x^2+x) = x^{14} + x^{13} + x^{12}$$

$$\begin{array}{r}
x^{14}+x^{13}+x^{12} \\
\hline
x^{14}+x^{11}+x^{10} \\
\hline
x^{13}+x^{12}+x^{11}+x^{10} \\
\hline
x^{13}+x^{10}+x^9 \\
\hline
x^{12}+x^{11}+x^9 \\
\hline
x^{12}+x^9+x^8 \\
\hline
x^{11}+x^8 \\
\hline
x^{11}+x^8+x^7 \\
\hline
x^7 \\
\hline
x^7+x^4+x^3 \\
\hline
x^4+x^3 \\
\hline
x^4+x+1 \\
\hline
x^3+x+1
\end{array}
\left| \begin{array}{l}
x^4+x+1 \\
\hline
x^{10}+x^9+x^8+x^7+x^3+1
\end{array} \right.$$

$$x^2 * B_2(x) = x^2(x^6 + x^5 + x) = x^8 + x^7 + x^3$$

$$\begin{array}{r} x^8 + x^7 + x^3 \quad | \quad x^7 + 1 \\ \underline{x^8 + x} \quad \quad \quad \underline{x + 1} \\ x^7 + x^3 + x \\ \underline{x^7 + 1} \\ x^3 + x + 1 \end{array}$$

x ning $i = 11$ va $j = 2$ daraja qiymatlarida qoldiq bir xil bo'ladi:

$$B(x) = x^3 + x + 1$$

3) Xatolar paketining o'rni aniqlanadi:

$$I \equiv - (11 D_1 + 2 D_2) \pmod{105}$$

$$D_1 \equiv 1 \pmod{15}, \quad D_2 \equiv 0 \pmod{7}$$

$$D_2 \equiv 1 \pmod{7}, \quad D_2 \equiv 0 \pmod{15}$$

$$D_1 = 16, 31, 46, 61, 76, 91$$

$$D_2 = 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70, 77, 84, 91$$

Demak, $D_1 = 91$ ga teng

$$D_2 = 8, 15$$

$$D_2 = 15$$

Tengliklardan ko'rinadiki $D_1 = 91, D_2 = 15$ bo'ladi.

Endi I ni aniqlasak bo'ladi:

$$I \equiv - (1 \cdot 91 + 2 \cdot 15) \pmod{105}$$

$$I \equiv - 86 \pmod{105}$$

Bu ifodadan $I = 105 - 86 = 19$ ekanligi kelib chiqadi.

Xatolar paketining ko'rinishi $B(x) = x^3 + x + 1$ bo'lib, u 19-razryaddan boshlanar ekan.

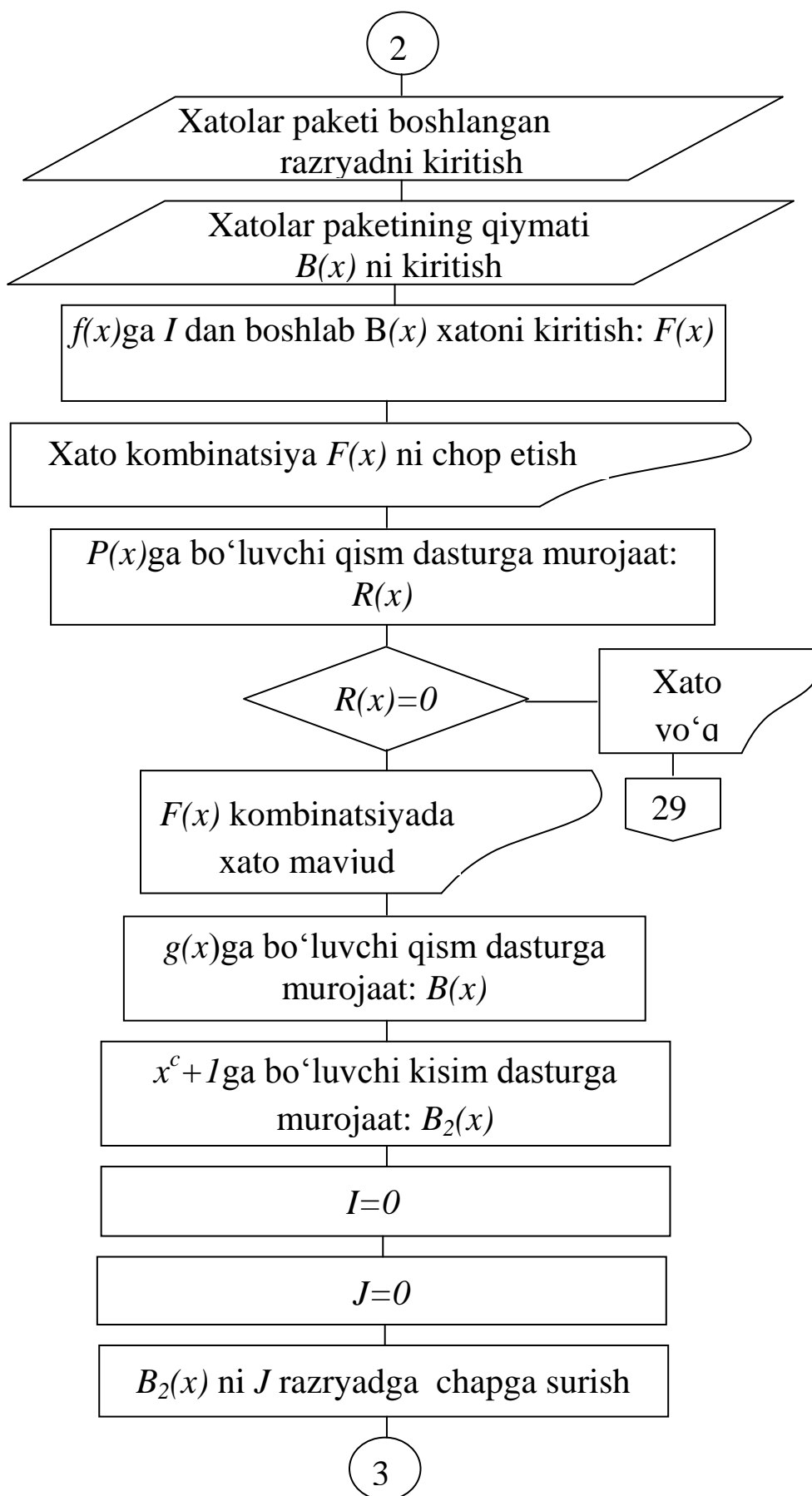
4) Xatolar paketini to'g'irlash uchun qabul qilingan $F(x)$ kodli kombinatsiyaga $x^{19}(x^3 + x + 1)$ polinom $\pmod{2}$ bo'yicha qo'shiladi.

$$F(x) = x^{22} + x^{20} + x^{19} = x^{31} + x^{28} + x^{27} + x^{24} + x^{21} + x^{19} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^3 + x + 1 + \\ + x^{22} + x^{20} + x^{19} = x^{31} + x^{28} + x^{27} + x^{24} + x^{21} + x^{20} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^3 + x + 1$$

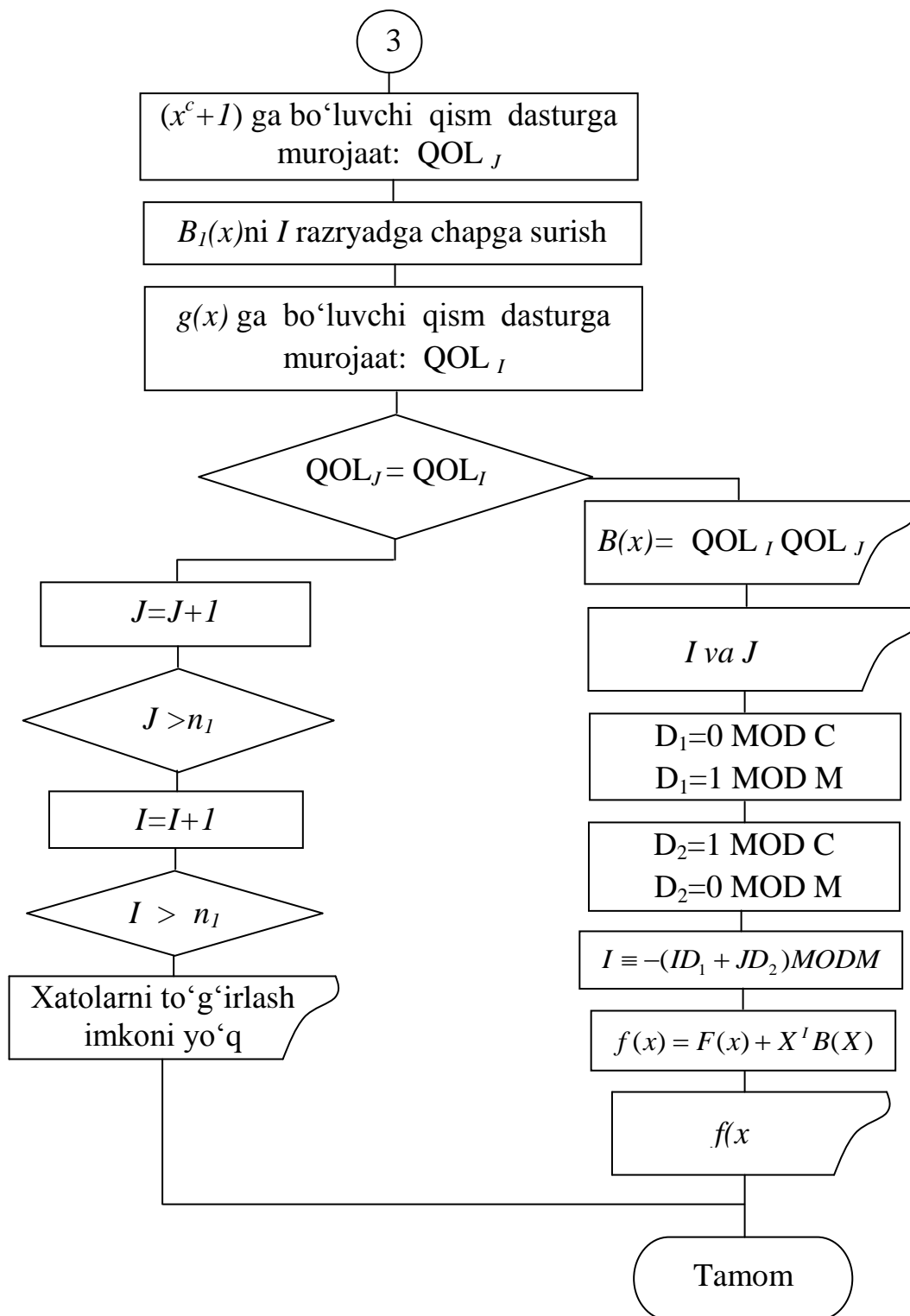
Shu tariqa dekoderda quyidagi to'g'irlangan kodli kombinatsiya tiklanadi:

$$F(x) + x^I B(x) = x^{31} + x^{28} + x^{27} + x^{24} + x^{21} + x^{20} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^3 + x + 1$$

Ushbu algoritmni blok-sxema ko'rinishdagi tahlili 3.15-rasmda berilgan. Rasmdagi bloklarning vazifasini izohlab o'tamiz:



3.15-rasm. Fayra kodini dekodeerlash algoritmi



3.15-rasm. Fayra kodini dekoderlash algoritmi (davomi)

1. Xatolar paketi boshlangan razryad nomeri « I_1 » kiritiladi;
2. Xatolar paketining qiymati $B(x)$ kiritiladi;
3. Kodlangan $f(x)$ kombinatsiyaga « I_1 » razryaddan boshlab $B(x)$ xato kiritiladi va $F(x)$ xato kombinatsiya hosil qilinadi;
4. $F(x)$ xato kombinatsiya chop etiladi;

5. $F(x)$ ni $P(x)$ yasovchi polinomga bo'lish bajariladi va $R(x)$ qoldiq olinadi;
6. $R(x)$ qoldiq tekshiriladi. Agar $R(x) = 0$ bo'lsa, u holda 30-blokka o'tiladi. Unda $F(x)$ kombinatsiyada xato yo'q degan xabar chop etiladi va dastur ishi yakunlanadi. Agar shart bajarilmasa navbatdagi 7-blokka o'tiladi;
7. $F(x)$ kombinatsiyada xato mavjud degan xabar chop etiladi;
8. $F(x)$ ni $g(x)$ ga bo'lish bajariladi va $B_1(x)$ qoldiq hosil qilinadi;
9. $F(x)$ ni (x^s+I) ga bo'lish bajariladi va $B_2(x)$ qoldiq hosil qilinadi;
10. Qoldiq $B_1(x)$ ga ko'paytirish kerak bo'lgan x^i ning boshlang'ich darajasi beriladi;
11. Qoldiq $B_2(x)$ ga ko'paytirish kerak bo'lgan x^j ning boshlang'ich darajasi beriladi;
12. $B_2(x)$ ni J razryad chapga surish ishi bajariladi ya'ni x^j ga ko'paytiriladi;
13. Hosil bo'lgan kombinatsiya (x^c+I) ga bo'linadi va qoldiq j hosil qilinadi.
14. $B_1(x)$ ni I razryad chapga surish ishi bajariladi (x^i ga ko'paytiriladi).
15. Hosil bo'lgan natija $g(x)$ ga bo'linadi va QOL_I olinadi.
16. QOL_I va QOL_j larning tengligi solishtiriladi. Agar qoldiqlar teng bo'lmasa 17 blokka o'tiladi.
17. x^j ning navbatdagi daraja ko'rsatkichi olinadi, ya'ni J daraja bir birlikka orttiriladi.
18. J ning kod uzunligi n_I dan kattaligi tekshiriladi. Agar shart bajarilmasa 12-blokka o'tiladi, ya'ni sikl takrorlanadi. Agar shart bajarilsa 19-blokka o'tiladi;
19. x^i ning navbatdagi daraja ko'rsatkichiga o'tiladi, ya'ni I daraja bir birlikka oshiriladi;
20. I ning n dan kattaligi tekshiriladi. Agar shart bajarilmasa 11-blokka o'tiladi. Agar shart bajarilsa 21-blokka o'tiladi;
21. «Xatolarni to'g'irlash imkoni yo'q» degan xabar chop etiladi va dastur ishi yakunlanadi. 16-blokdagi shart bajarilganda 22-blokka o'tiladi;
22. Bir xil bo'lgan qoldiq $B(x)$ ($QOL_I = QOL_J$) chop etiladi;
23. Qoldiqlari teng bo'lgan daraja ko'rsatkich I va J lar chop etiladi;
24. D_1 ning qiymati topiladi;
25. D_2 ning qiymati aniqlanadi;

26. D_1 va D_2 lar asosida xatolar paketi boshlangan I razryad aniqlanadi;
27. $F(x)$ xato kombinatsiya to'g'irlanadi;
28. To'g'irlangan kombinatsiya chop etiladi;
Dastur ishi yakunlanadi.

Nazorat savollari:

1. Fayra kodini qurish asoslari qanday amalga oshiriladi?
2. Axborotlarni Fayra kodida kodlashtirish usullari qanday amalga oshiriladi?
3. Fayra kodining uzunligi nimalarga teng bo'ladi?

3.8. Yuqori aniqlikka ega kodlar. Modifikatsiya. Telekommunikatsiya tizimlarida ishonchlilikni oshirish choralari va usullari

Aloqa kanallari orqali axborot yetkazilishining ishonchliligini ta'minlash usullarining asosiylaridan biri xatolarni topuvchi va to'g'irlovchi xalaqitga qarshi kodlardan foydalanish hisoblanadi. U yoki bu kodni qo'llash xatoning turiga bog'liq bo'ladi. Masalan:

- Xemming kodi xatolarni to'g'irlash uchun;
- BChX kodi ko'p martalik mustaqil yakka xatolarni to'g'irlash uchun;
- Fayra kodi xatolarning yakka paketlari uchun;
- Rid-Solomon kodi ko'p martalik xatolar paketi uchun xizmat qiladi.

Davriy kodlar:

- kosmik aloqalar tizimlarida;
- raqamli televidenie tizimlarida;
- raqamli radioaloqada;
- uyali va tranking aloqada;
- ma'lumotlarni yetkazish tizimlari kabi turli tizimlarda keng qo'llaniladi.

Bu kodlar axborot saqlanishining yuqori ishonchliligini ta'minlash imkonini beradigan lazer va magnit disklardagi to'plagichlarda, xotira qurilmalaridagi yarim o'tkazgichlaridagi xatolarni bartaraf etish uchun qo'llaniladi.

O'Klar uzluksiz halaqitbardosh kodlar sinfiga kiradi. O'Kning asosiy xarakteristikalaridan biri K kattalik hisoblanadi, u kodli cheklash uzunligi deyiladi va bu axborot simvoli qanday chiqish simvollari maksimal soniga ta'sir qilishini ko'rsatadi. Binobarin, ishlatilishi nuqtai nazaridan eng foydali Viterbi algoritmi bo'yicha O'Kni dekodlash murakkabligi kodli cheklash uzunligi ortishi bilan eksponensial ortadi, u holda K kattalikning odatdagi qiymatlari kichik bo'ladi va 3^{-10} intervalda yotadi. O'Kning boshqa kamchiligi shundan iboratki, ular xatoliklarni aniqlay olmaydi. Shuning uchun GSM (Group Special for Mobile - maxsus mobil aloqa guruhi) standartida halaqitlarni tashqi aniqlash uchun $R=1/2$ tezlikli O'K (2, 1, 5) asosidagi blokli kod ishlatiladi.

Eng katta yutuqni O'K radiokanalidagi faqat bittalik (tasodifiy) xatoliklarda ta'minlaydi. GSM standartida o'z o'rniga ega bo'lgan signallarni yo'qolib qolishlari radiokanallarda O'Kni navbatlash bilan birga ishlatish kerak.

GSM standartida nutq kanallari va boshqarish kanallarining asosiy xossalari bir-birlaridan farqlanadi. Nutq kanallari uchun radiokanalidagi xatolik ehtimoligiga nisbatan past talablarda qisqa kechikishlarli real vaqt rejimidagi aloqa zarur. Boshqarish kanallari uchun ma'lumotlarning absolyut yaxlitligi va xatoliklarni aniqlash talab qilinadi, lekin uzunroq uzatish va kechikish vaqtiga ruxsat etiladi.

Turli mantiqiy kanallarda turli O'Klar ishlatiladi, chunki uzatish tezligi va xatoliklardan himoyalash bo'yicha talablar ham turlicha. Kodlash va dekodlash mexanizmlarini soddalashtirish uchun kodlarni shakllantirishga faqat bir necha polinomlar ishlatiladi. Bu bitta $R=1/2$ tezlikli O'Kni ishlatishga imkon beradi. Lekin to'liq tezlikli aloqa kanalini shakllantirish talabini bajarilishi uchun, shuningdek bitlarni joylashtirilish tuzilmasini kadrlarning tuzilmasi bilan moslikka keltirish uchun $R=244/456=0,535$ tezlik zarur bo'ladi. Tezliklarni tenglashtirish uchun $R=1/2$ gacha nutq kanalida "siyraklashtirish", ya'ni ayrim kodlangan simvollarni davriy o'tkazish qo'llaniladi. Bunday operatsiya "teshiklash" (kinotasmalardagi kabi), bunday tarzda shakllantirilgan kodlar "teshiklangan" kodlar deyiladi. Qabullashda dekoder teshiklash algoritmini bilish bilan qabul qilinadigan ma'lumotlarni talqin qiladi.

Kodlash va navbatlash halaqitlar ta'sir qiladigan va foydali signalning so'nishlari bo'ladigan sharoitlarda signallarni qabul qilish ishonchligini oshirish uchun xizmat kiladi.

Signalga qanchalik ortiqcha simvollar kiritilsa, uning bazasi shunchalik katta bo'ladi va kodning tuzatish qo'biyati shunchalik katta

bo‘ladi. Lekin bu tasdiqlash faqat qisman to‘g‘ri. Buning ma‘nosi shundan iboratki, uzatish sifati ko‘rsatkichlaridan biri E_b/N_0 (bunda E_b — bitga signal energiyasi, N_0 — shovqinning spektral zichligi) signal/shovqin nisbatini kodlashsiz ham, faqat signalning davomiyligini oshirish hisobga oshirish mumkin. Kodlashning qo‘llanilishi (natijada apparaturani murakkablashtirish) faqat u E_b/N_0 nisbatda sezilarli yutuqni olishga imkon berganida to‘g‘ri bo‘ladi.

Ta‘kidlaymizki, tasodifiy xatoliklar xarakteri bilan (odatda “oq shovqin” turdagi additiv halaqitlar) kanallar uchun o‘nlab ma‘lum kodlardan faqat bir nechtasi amaliy qiziqishni uyg‘otadi. Ishlab chiquvchilar ko‘pincha uchta: O‘Klar, Rid-Solomon kodlari va turbo kodlarni ishlatadi.

Bir necha shovqinbardosh kodlash sxemalarini birgalikda ishlatilishi turli ishlatish usullarini hisobga olishga imkon beradi. O‘Klar odatda bitta xatolik ehtimolligi yetarlicha katta bo‘ladigan nutq trafiginu uzatilishi uchun ishlatiladi. Yuqoriroq ishonchlilik talab qilinadigan ma‘lumotlarni uzatishda tashqi kod Rid-Solomon kodi, ichki kod O‘K bo‘lgan kaskadli kodlar qo‘llaniladi.

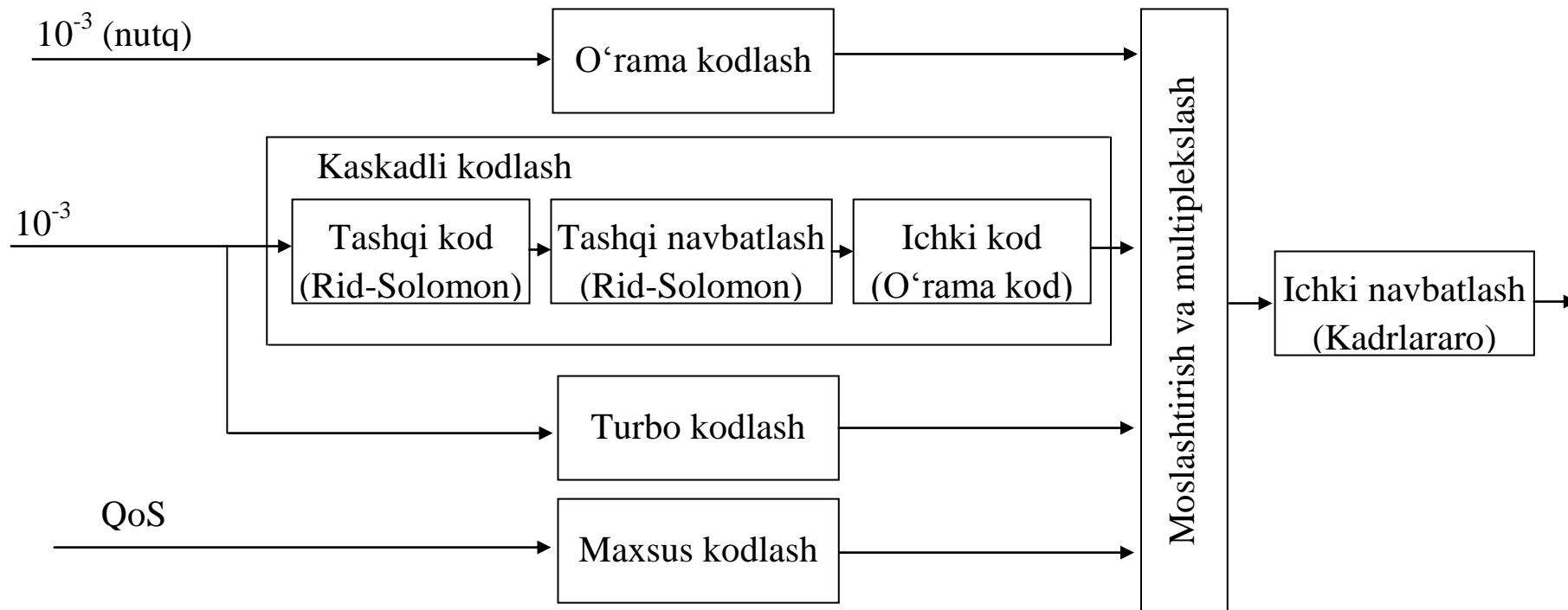
CDMA (Code Division Multiple Access - Kodli ajratishli ko‘plab ruxsat etish texnologiyasi) tizimlarda kodlash protsedurasi ikkita bosqichda bajariladi. Birinchi bosqichda har xil trafiklar turlaridagi E_b/N_0 nisbatlardagi farq tenglashtiriladi (bu funksiya koder yordamida amalga oshiriladi), ikkinchi bosqichda esa tezliklar muvofiqlashtiriladi (takrorlash va bitlarni yo‘qotish sxemalari yordamida apparatli amalga oshiriladi).

Signal/shovqin nisbatidagi farqlarni yo‘qotish. CDMA-koderda 3.16-rasmda tasvirlangan to‘rtta kodlash zanjirlaridan bittasi yoki ikkitasi ishlatilishi mumkin:

- o‘rama kod;
- kaskadli kod (tashqi Rid—Solomon kodi + tashqi kodni navbatlash + o‘rama kod);
- turbo kod;
- maxsus kod.

Birinchisi oldin aytilganidek, nutq signallarini kodlash uchun, keyingi ikkitasi ma‘lumotlarni kodlash uchun, oxirgisi esa nomlanishiga muvofiq maxsus signallarni kodlash uchun ishlatiladi.

Nutqni kodlash qator prinipial o‘ziga xos xususiyatlarga ega. Avvalo, real vaqt rejimidagi interaktiv aloqani ta‘minlash zarur, bunda ma‘lumotlarga ishlov berishga bog‘liq kechikish ruxsat etilgan qiymatdan oshmasligi kerak.



3.16-rasm. Kodlash zanjirlari

Telekommunikatsiya tizimlarida ishonchlilikni oshirish usullari.

Quyidagilarga asosan aloqa tarmoqlari va tizimlariga nisbatan bo'lgan talab doimiy ravishda ortib boradi:

- foydalanuvchilar sonining ortishi;
- foydalanuvchilarni qiziqtirgan xizmat turlarining sonini ortishi;
- xizmat ko'rsatish sifatiga bo'lgan talabning ortishi (qabul qilinadigan axborotlarning ishonchliligini, yetkazilish vaqti va maxfiyligiga bo'lgan talab asosiy hisoblanadi).

Hozirgi kunda amaliyotda konferensaloqa, elektron pochta, axborotlarni qidirish va hokazo shunga o'xshash kabi xizmatlar keng qo'llanilmoqda.

Keng yo'lakli raqamli kanalni amalga oshirishni talab etuvchi yangi turdagi xizmatlarga bo'lgan talablar hosil bo'lmoqda. Bular:

- eng avvalo oq – qora va rangli videotelefon;
- videokonferensaloqa;
- rangli faksimil aloqa;
- videopochta;
- videoli axborotlarni qidirish;
- qisqa vaqtda katta hajmdagi axborotlarni uzatish va hokazo kabi xizmatlardir.

Bundagi ko'pgina talab etilayotgan xizmatlar, axborotlarni kompleksli yetkazish xizmati hisoblanadi. Bu esa, XTI standartlash sektori tavsiyasiga muvofiq multimedia deb yuritiladi.

Hisoblash tarmoqlarini takomillashtirish quyidagi o'zaro bog'liqlik asosida amalga oshiriladi:

- birinchi tomondan lokal tarmoqlarining o'zini ishlash tezligini oshirish bo'lsa;
- ikkinchi tomondan – har xil turdagi lokal tarmoqlarni shaxar, mahalliy va global tarmoqlarga birlashtirishdir. Bu esa har - xil turdagi axborotlarni almashish imkonini beradi.

Yangi axborot texnologiyalar multimedia texnologiyalarining yaratilishi telekommunikatsiya tizimlariga integratsiyalashuvning 3 – bosqichini boshlab berdi.

1 – bosqich, raqamli texnika asosida kommutatsiya va uzatish tizimlarining integratsiyalashuvi bilan bog'liq. Bu esa integral raqamli tarmoqlar (ISDN) ni yaratish bilan yakunlanadi.

2 – bosqich, integratsiya xizmatlarini amalga oshiruvchi raqamli tarmoqlarni yaratishdan iborat: bunda abonent bitta tarmoqdan har - xil

turdagi axborotlar bilan ishlash vazifasini bajaruvchi bir qancha terminallardan foydalanish imkoniga ega bo'ldi.

3 – bosqich esa har - xil turdagi terminallarning o'zini bitta qurilmaga integratsiyalashdan iborat. Bu esa telekommunikatsiya tarmoqlarining hamma turdagi xizmatlaridan foydalanish imkonini beruvchi PK asosida bajariladi. Demak, bu multimediani qo'llash uchun asos bo'ladi.

Telekommunikatsiya tizimlarida ishonchlilikni pasayish sabablarini quyidagicha izohlash mumkin:

- diskret kanalning AChX, FChX va boshqa parametrlariga qo'yilgan talab bajarilmaganligi;
- diskret kanalda qisqa vaqtli va impulsli shovqinlar mavjudligi;
- uzatish darajasi moslashmaganligi;
- chastotalarning surilishi va boshqalar.

Ishonchlilikni oshirish usullarini shartli ravishda 3 guruhga bo'lish mumkin:

I guruh – ekspluatatsiya va profilaktika aloqa kanallarining sifat ko'rsatkichlarini oshirishga yo'naltirilgan. Bu usul foyda bermasa hech bo'lmaganda, diskret xabarlarini uzatishda hosil bo'ladigan xatolar sonini kamaytirish, shovqin va so'nishlarni kamaytirish mumkin.

II guruh – diskret xabarlarini uzatishda birlik elementlar shovqinbardoshligini oshirishga yo'naltirilgan choralar:

- amplituda o'zgarishi signal/shovqin o'sishi natijasida uning nisbatini ham o'sishi;
- foydali signal spektr chastotasi yoki uzunligi;
- signallarni qabul qilishda rivojlangan va shovqinbardosh modulyatsiya usullarini ishlatish.

Shuni esdan chiqarmaslik kerakki, xabarlarini uzatishda ishonchlilikni oshirish usullarini hammasi shovqinbardosh usullarda uzatish uchun ayrim xarajatlarga ega.

III guruh – diskret xabarlarini uzatishda ishonchlilikni oshirish uchun qabul qilingan xabarlarda xatoliklarni aniqlash va xatoliklarni to'g'irlash kiradi. Bu usullarni teskari aloqasiz va teskari aloqali tizim tashkil qiladi.

Zamonaviy telekommunikatsiya tizimlari ularga xalaqitlar, shovqinlar ta'sir qilganda ham, o'zlarining sifatli ishlash qobiliyatlarini yo'qotmasliklari lozim. Shuning uchun axborotlarni kodlashda shovqinbardosh kodlar ishlatiladi.

Qurilmalarni ishonchliligi deb – qurilmalarni oldiga qo'yilgan vazifalarini belgilangan vaqt oralig'ida bajarishga aytiladi. Belgilangan

vazifalarni bajarilmasligi, yoki ishchi parametrlarini berilgan qiymatidan chiqib ketishiga qurilmalarning nosozligi deyiladi.

Qurilmalarni ishonchliligi quyidagi parametrlar orqali baholanadi:

O‘rtacha tiklanish vaqti. O‘rtacha tiklanish vaqti statistik tekshirish yo‘li bilan aniqlanadi. Tekshirish davrida qurilmada N marotaba nosozlik sodir bo‘lgan bo‘lsa, u holda

$$T_T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{nosoz_i}$$

Bu yerda T_{nosoz_i} – i -nosozlik vaqti.

Qurilmaning o‘rtacha ishlash vaqti. Qurilmaning o‘rtacha ishlash vaqti bu ikki nosozlik orasidagi ishlash vaqtiga aytiladi. Tekshirish davrida qurilmada N marotaba nosozlik sodir bo‘lgan bo‘lsa, u holda:

$$T_{ish} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{ish_i}$$

Bu yerda T_{ish} – i -nosozlikdan oldingi qurilmaning o‘rtacha ishlash vaqti.

Tayyorgarlik koeffitsienti. Tayyorlik koeffitsienti bu berilgan vaqt oralig‘ida qurilmalarni holatini ko‘rsatuvchi ehtimolligidir.

$$K_T = \frac{T_{ish}}{T_{ish} + T_{nosoz}}$$

Ishdan chiqish intensivligi. Ishdan chiqish intensivligi bu qurilmaning o‘rtacha ishlash vaqtiga teskari proporsional qiymatdir:

$$\lambda = \frac{1}{T_{ish}}$$

Tiklanish intensivligi. Tiklanish intensivligi bu qurilmaning o‘rtacha nosozlik vaqtiga teskari proporsional qiymatdir:

$$\mu = \frac{1}{T_{nosoz}}$$

Qurilmani ishdan chiqmasdan ishlash ehtimolligi. Qurilmani ishdan chiqmasdan ishlash ehtimolligi bu berilgan vaqt oralig'ida qurilmada nosozlik sodir bo'lmaydi:

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

Teskari aloqali ma'lumotlar uzatish tizimlarining ishonchliligi. Qanday murakkab tizim yoki qurilma bo'lmasin, birinchi navbatda bu tizim yoki qurilmalar tarkibidagi elementlar maksimal ishonchlilikka ega bo'lishi kerak. Agarda uzatish qurilmasini ko'radigan bo'lsak, bu qurilma o'z tarkibiga har xil elementlarni oladi. Elementlarning ishdan chiqish intensivligi 3.6 – jadvalida keltirilgan.

3.6-jadval

№	Elementlar tarkibi	$\lambda * 10^5$
1	Qarshilik	0,01 - 0,4
2	Kondensator	0,03 - 0,5
3	Diod	0,03 - 0,5
4	Tranzistor	0,04 - 1
5	Indektiv katushkasi	0,07 - 1
6	Rele	0,3 - 1
7	Ulagich	0,2 - 5
8	Plata	0,03 - 0,5
9	Payka	0,0004 - 0,01

Qurilmalarning ishonchliligini hisoblash elementlarning ishdan chiqish intensivligi yig'indisini topish yo'li bilan amalga oshiriladi. Asosan qurilmadagi birgina elementni ishdan chiqishi butun qurilmani ishdan chiqishga olib keladi. Shu sababli qurilmalarni ishonchliligini hisoblashda hamma elementlar ketma-ket ulangan deb taxmin qilinadi va ularning ishdan chiqish intensivligining yig'indisi topiladi:

$$\lambda_{umumiy} = \frac{1}{T_{umumiy}} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n$$

Tayyorgarlik koeffitsienti quyidagicha topiladi:

$$K_{Tumumiy} = K_{T1} * K_{T2} * \dots * K_{TN}$$

O‘rtacha tiklanish vaqti quyidagi formula orqali topiladi:

$$T_{Tumumiy} = T_{ish.umumiy} \frac{1 - K_{Tumumiy}}{K_{Tumumiy}}$$

Qurilmalarni ishonchliligini oshirishning asosiy yo‘llaridan biri bu qurilmalarni zahiralashdir. Elementlar yoki qurilmalar zahiralanganda asosiy elementga yoki qurilmaga parallel ravishda zaxira element yoki qurilma ulanadi. U holda tiklanish intensivlari qo‘shiladi:

$$\mu_{umumiy} = \frac{1}{T_{Tumumiy}} = \mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n$$

Tayyorgarlik koefitsienti quyidagicha aniqlanadi:

$$1 - K_{Tumumiy} = (1 - K_{T1}) * (1 - K_{T2}) * \dots * (1 - K_{TN})$$

Ishlash vaqti quyidagi formula orqali topiladi:

$$T_{Iumumiy} = T_{T.umumiy} \frac{K_{Tumumiy}}{1 - K_{Tumumiy}}$$

1-misol. Ma’lumotlarni uzatish kanali quyidagi ishonchlilik qiymatlariga ega: Ma’lumotlarni uzatuvchi qurilma - $T_{I.MUQ} = 500$ soat; $T_{T.MUQ} = 0,5$ soat;

Aloqa kanali - $T_{I.AK} = 20$ soat; $T_{T.AK} = 12$ daqiqa.

Har bir qurilmalar uchun tayyorgarlik koefitsientlarini va ishdan chiqish intensivliklarini topamiz.

$$\lambda_{MUQ} = 1/500 = 0,002 \quad 1/\text{soat};$$

$$\lambda_{AK} = 1/20 = 0,050 \quad 1/\text{soat}.$$

$$K_{TMUQ} = 500/(500+0,5) = 0,999$$

$$K_{TAK} = 20*60/(20*60+12) = 0,990$$

Ma’lumotlarni uzatish kanali uchun umumiy ishonchlilik parametrlarini topish kerak. Ma’lumotlarni uzatish kanali elementlari

ketma-ket ulanganligi sababli, birinchi navbatda ishdan chiqish intensivligining yig'indisi topiladi:

$$\lambda_{MUK} = \frac{1}{T_{MUK}} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n =$$

$$= 0,002 + 0,050 + 0,002 = 0,054 \quad 1/soat$$

Ma'lumotlar uzatish kanalining ishlash vaqti quyidagiga teng bo'ladi:

$$T_{I.MUK} = \frac{1}{\lambda_{MUK}} = \frac{1}{0,054} = 18,5 \quad soat$$

Ma'lumotlar uzatish kanalining tayyorgarlik koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi:

$$K_{T.MUK} = 0,999 * 0,990 * 0,999 = 0,988$$

Ma'lumotlar uzatish kanalining tiklanish vaqti quyidagiga teng:

$$T_{T.MUK} = T_{I.MUK} \frac{1 - K_{T.MUK}}{K_{T.MUK}} = 18,5 * \frac{1 - 0,988}{0,988} = 0,222 \quad soat$$

2-misol. Ma'lumotlarni uzatish kanalida axborot kanali zaxiralanganda quyidagi ishonchlilik qiymatlariga ega:

Ma'lumotlarni uzatuvchi qurilma - $T_{I.MUQ} = 500$ soat; $T_{T.MUQ} = 0,5$ soat;

Aloqa kanali - $T_{I.AK} = 20$ soat; $T_{T.AK} = 12$ daqiqa.

Har bir qurilmalar uchun tayyorgarlik koeffitsientlarini va ishdan chiqish intensivliklarini topamiz.

$$\lambda_{MUQ} = 1/500 = 0,002 \quad 1/soat;$$

$$\lambda_{AK} = 1/20 = 0,050 \quad 1/soat.$$

$$K_{T.MUQ} = 500/(500+0,5) = 0,999$$

$$K_{T.AK} = 20*60/(20*60+12) = 0,990$$

$$\mu_{AK} = 1/0,2 = 5 \quad 1/soat$$

$$\mu_{MUQ} = 1/0,5 = 2 \quad 1/soat$$

Ma'lumotlarni uzatish kanali uchun umumiy ishonchlilik parametrlarini topish kerak. Ma'lumotlarni uzatish kanalida aloqa kanali zaxiralangani uchun bu bo'lagi parallel ulanish bo'yicha hisoblanadi. Bu hol uchun tiklanish intensivligining yig'indisi topiladi:

$$\mu_{AK} = \frac{1}{T_{TAK}} = \mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n = 5 + 5 = 10 \quad 1/soat$$

Aloqa kanali uchun tiklanish vaqti quyidagiga teng bo'ladi:

$$T_{AK} = \frac{1}{\mu_{TAK}} = \frac{1}{10} = 0,1 \quad soat$$

Tayyorgarlik koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi:

$$1 - \hat{E}_{\hat{O}.A\hat{E}} = (1 - \hat{E}_{\hat{O}1}) * (1 - \hat{E}_{\hat{O}2}) = (1 - 0,99) * (1 - 0,99) = \\ = 0,01 * 0,01 = 0,0001$$

$$\hat{E}_{\hat{O}.A\hat{E}} = 0,9999$$

Aloqa kanalili uchun ishlash vaqtini topamiz:

$$T_{IAK} = T_{TAK} \frac{K_{T.AK}}{1 - K_{T.AK}} = 0,1 \frac{0,9999}{1 - 0,9999} = 999,9 \quad soat$$

Aloqa kanalini ishlash intensivligini hisoblaymiz:

$$\lambda_{IAK} = \frac{1}{T_{IAK}} = \frac{1}{999,9} = 0,001 \quad soat$$

Ma'lumotlarni uzatish kanali uchun umumiy ishonchlilik parametrlarini topish kerak. Ma'lumotlarni uzatish kanali elementlari ketma-ket ulanganligi sababli, birinchi navbatda ishdan chiqish intensivligining yig'indisi topiladi:

$$\lambda_{MUK} = \frac{1}{T_{MUK}} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = \\ = 0,002 + 0,001 + 0,002 = 0,005 \quad 1/soat$$

Ma'lumotlar uzatish kanalining ishlash vaqti quyidagiga teng bo'ladi:

$$T_{I.MUK} = \frac{1}{\lambda_{MUK}} = \frac{1}{0,005} = 200 \quad soat$$

Ma'lumotlar uzatish kanalining tayyorgarlik koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi:

$$K_{T.MUK} = 0,999 * 0,9999 * 0,999 = 0,998$$

Ma'lumotlar uzatish kanalining tiklanish vaqti quyidagiga teng:

$$T_{T.MUK} = T_{I.MUK} \frac{1 - K_{T.MUK}}{K_{T.MUK}} = 200 * \frac{1 - 0,998}{0,998} = 0,4 \text{ soat}$$

Nazorat savollari:

1. Davriy kodlar qaerlarda qo'llaniladi?
2. CDMA-tizimlarida kodlash protsedurasi nechta bosqichda bajariladi?
3. Yangi turdagi xizmatlarga bo'lgan talablar nimalardan iborat?
4. Integratsiyalashuvning 3 – bosqichini tushuntirib bering?
5. Telekommunikatsiya tizimlarida ishonchlilikni pasayish sabablari nimada?
6. Ishonchlilikni oshirish usullarini nechta guruhga bo'lish mumkin?
7. Tayyorgarlik koeffitsienti qanday aniqlanadi?

4. ZAMONAVIY SHOVQINBARDOSH KODLASH ALGORITMLARI

4.1. Kaskad kodlar. Takomillashgan va birlashgan kodlar

Real aloqa kanallari, ayniqsa ovoz chastotasidagi standart kanal asosidagi aloqa kanallari xatolarni guruhlash aloqa kanallari hisoblanadi, xatolar paketlari uzunligi oʻnlab ikkilik belgilaridan yuzlab ikkilik belgilarigacha chegarada boʻlishi mumkin. Bundan tashqari paketlar orasidagi himoya intervallarida tasodifiy xatolar mavjud. Bu strukturadagi xatolarni toʻgʻirlash uchun shovqinbardosh kodlar talab qilinadi, bu esa juda katta uzunlikdagi kodlar ketma-ketligi va yuqori ortiqchalikdagi shovqinbardosh kodlardan foydalanish demakdir. Bunday kodlar dekodlash jarayonida yuqori murakkablikdagi amalga oshirish va katta axborot kechikishiga ega.

Bu strukturadagi xatolarni toʻgʻirlash uchun talab etilayotgan axborot uzatilishi ishonchliligini dekodlashda kodekni kam murakkablikda amalga oshirish va kechikishni taʼminlaydigan axborotni kodlash usuli yaratilgan.

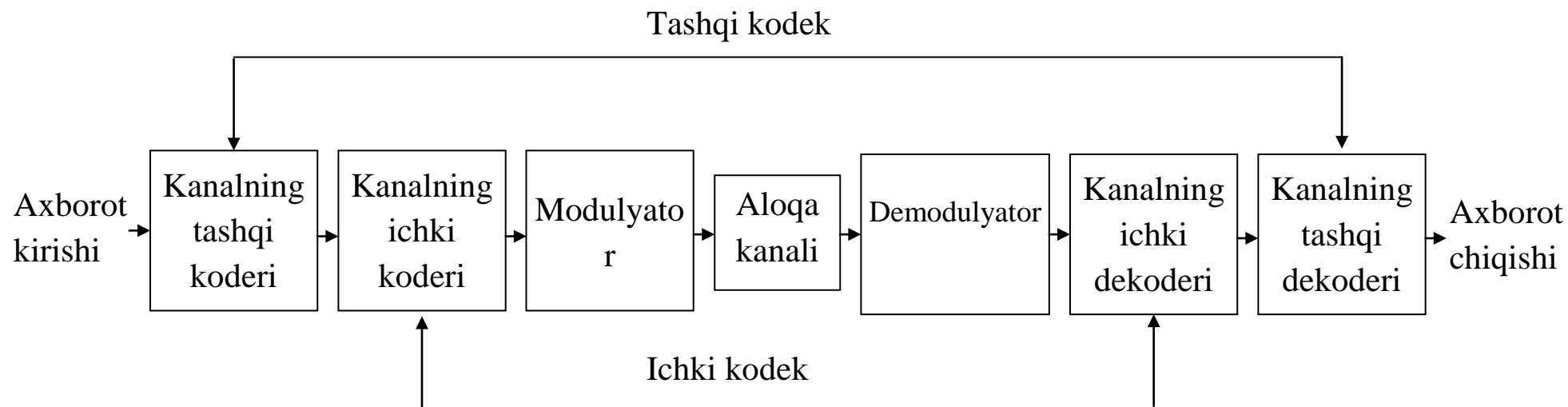
Bunday axborotni kodlash usulining mohiyati ikki va undan ortiq kodlarni kaskadlashdan iborat. Bunda har bir kodlash darajasida bir xil turdagi va toʻgʻirlash xususiyatidagi yoki har xil kodlardan foydalansa boʻladi.

Eng keng tarqalgan kaskad kodlar tuzilishi sxemasi ikki kaskadli yoki ikki pogʻonali sxema hisoblanadi (4.1-rasm):

Tashqi kod sifatida koʻpincha paket xatoliklarini toʻgʻirlovchi Rid-Solomon kodlaridan foydalaniladi, ichki kodlar esa tasodifiy xatolarni toʻgʻirlovchi siklik hamda OʻKlar boʻlishi mumkin. Real aloqa sistemalarida ichki kod sifatida Viterbi dekoderlash algoritmiga ega OʻKlardan foydalaniladi.

Tashqi koderda uzatilayotgan axborot paketli xatolarni toʻgʻirlashga moʻljallangan kod bilan kodlanadi.

Asosan Rid-Solomonning ikkilik boʻlmagan kodlaridan foydalaniladi. Keyin tashqi kodning kodli ketma-ketliklari ichki kod bilan kodlanadi.



4.1-rasm. Kaskad kodlar tuzilish sxemasi

Endryu Djejms Viterbi 9 mart 1935 yil Italiyada tavallud topgan. 1967 yili O'Klarni dekodlash uchun Viterbi algoritmlaridan foydalanishni taklif qilgan.

Algoritm xatolarni to'g'rilashda va nutqlarni aniqlashda, yashirin markov modeli qo'llaniladigan boshqa joylarda keng ishlatiladi.

Viterbi bundan tashqari CDMA standartini ishlab chiqishda ham ishtirok etgan.



Endryu Djejms
Viterbi

Axborotni kodlash vadekodlash quyidagi ko'rinishda amalga oshadi:

2004 yil janubiy Kaliforniya universiteti qoshidagi muxandislik maktabi uning nomiga qo'yilgan. Irvin Djejkobs bilan birgalikda Lincabit kompaniyasini va 1985 yil Djejkobs bilan birgalikda Qualcomm kompaniyasini tashkil qilganlar.

Viterbi 1984 yil Aleksandr Grem Bell nomidagi oltin medalni, 1990 yil Markoni mukofotini, 1991 yil Shennon mukofotini va 2008 yili Viterbi algoritmini yaratganligi uchun AQShning Milliy ilmiy medalini olgan.

Ichki koderning chiqishida kaskad kodning kodli belgilari modulyatorning kirishiga tushadi va keyin aloqa kanaliga uzatiladi.

Qabul qilish qismida avval ichki dekodeerda, keyin esa tashqi dekodeerda qayta ishlanadi.

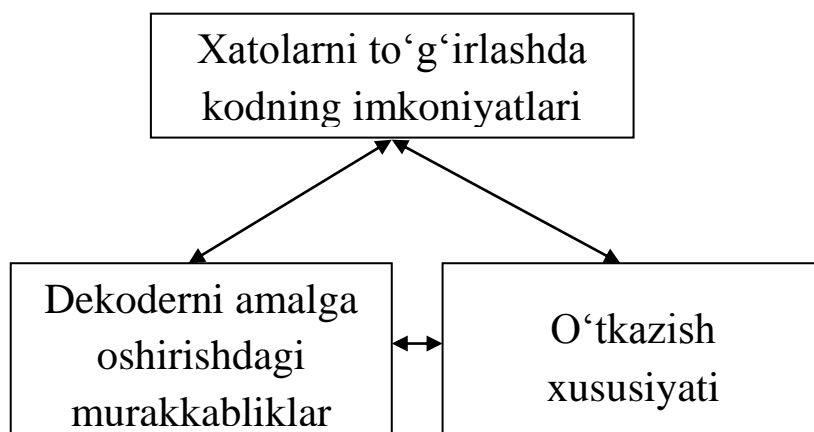
Ichki kodni to'g'irlash xususiyatini oshirish maqsadida ichki koderning chiqishiga kodli belgilarni joyi o'zgartiriladi.

Kodlar joyini o'zgartirishning mohiyati kodlarni har xil kodli so'zlar bilan paketga kiruvchi, tasodifiy xatolarni to'g'irlovchi xatolarni bo'lib-bo'lib joylashtirishdan iborat.

Simsiz aloqa kanallarida bunday aniqlikni shovqinbardosh kodlashni qo'llamay turib olish qiyin. Kodlash va dekodlash usulini tanlash 3 ta asosiy guruhga bo'lingan, o'zaro bog'liqligi 4.2-rasmda ko'rsatilgan ko'plab faktorlarga amal qilinadi.

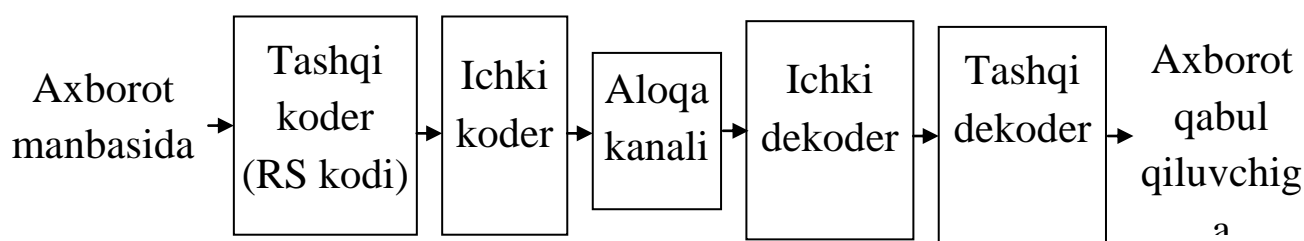
Amalga oshirish murakkabligi deganda - apparat hamda dastur harajatlari, mikrosxema va mikroprotssessor narxi, ma'lumotlarni saqlash uchun xotira narxi va boshqalar tushuniladi.

O'tkazish xususiyati deganda, bu kontekstda, faqatgina foydali axborot xajmi va ortiqchaligidan tashqari xizmat axboroti hajmi ham tushuniladi. Bunday xabarlar uzatish qabul qilishda sinxronizatsiyani o'rnatish va qo'llash uchun, ma'lumotlarni uzatishda elementlarni boshqarish uchun kerak bo'ladi.



4.2-rasm. Kodlash va dekoderlash usulini tanlash

Amalda asosan tarkibli va kaskad kodlardan foydalaniladi (4.3-rasm).

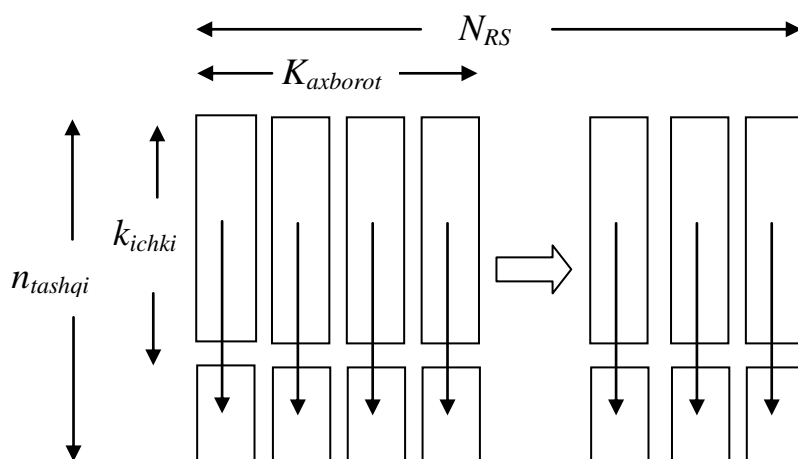


4.3-rasm. Kaskad koddan foydalanilgan axborot kanali

Kodlashni kaskadli prinsipini amalga oshiruvchi har xil variantlari mavjud. Avval axborot hisoblangan $K_{axborot}=K$ ikkilik belgilar ketma-ketligi $k_2=k_{tashqi}$ blok osti har biriga $k_1=k_{ichki}$ belgidan bo'linadi (4.4-rasm). Bu blok osti Galua ikkilik maydoni daraja kengaytmasi k_1 ostida tashqi kodning axborot guruhini tashkil etgan holda ko'rinadi. Ko'p bunday belgilar $q=2^{k_1}$ dan aniqlanadi.

Tashqi kod k_2 asosida tekshirish belgilarini hosil qiladi. Agar tashqi kod sifatida Rid-Solomon kodidan foydalanilsa, unda u kodni to'g'irlash xususiyatlari $d_2 = n_2 - k_2 + 1$ ifodasi orqali aniqlanadi. Bu kodning tekshirish belgilari $GF(2^{k_1})$ maydoni elementlari hisoblanadi.

Kodning (n_2, k_2) kombinatsiyalari barcha q -lik belgilari (n_1, k_1) ichki kod bilan kodlanadi. Natijada $n_1 * n_2$ uzunlikdagi $k_1 * k_2$ ikkilik axborot umumiy minimal $d_1 * d_2$ masofaga ega belgilardan iborat ikkilik blok kodi olinadi, bu yerda d_1 ichki kodning minimal masofasi.



4.4-rasm. Kaskad kod so‘zi tuzilishi

Kaskad so‘zning afzalligi, ular (n_1, n_2, k_1, k_2) uzun kodni dekodlashni ikki sezilarli ichki ikkilik (n_1, k_1) kod va tashqi (n_2, k_2) kod bilan dekodlashni almashtirishdan iborat. Kaskad kodlar yetarlicha katta qiymatga ega, d amalga oshirish imkonini beradi, shuning uchun ularning xatolarni guruhlanuvchi xatolar kanallarida qo‘llanilishi ma’noga ega.

Kaskad kodlarning boshqa afzalligi shundan iboratki, xatolarni ichki kod orqali to‘g‘irlashda erkin xatolarni faqatgina konstruktiv usul bilan emas, agar (n_1, k_1) kam quvvatli kod bo‘lsa, balki optimal saralash usullaridan foydalanish mumkin. Uning xususiyatidan blokli kodlarni dekodlashda, klaster tahlili usuli orqali foydalanish mumkin. Qachonki klaster ehtimolligi ko‘proq xato namunalari kirsam bu dekodlash algoritmi ro‘yhat bo‘yicha dekodlashga o‘hshaydi.

Dekoderning murakkabligi kaskadli kodlash bilan sistemada xatolarni kod bilan to‘g‘irlash soni, funksiya kabi chiziqli o‘sadi, vaholanki oddiy kodlardan foydalanilsa, bu bog‘liqlik eksponensial xarakterga ega. Bunday effektning asosiy sababi shundan iboratki, ichki kodlar kombinatsiyasini dekodlashda u xatolarni to‘g‘irlamaydi, balki xatolarni aniqlaganda o‘chirib yuboradi.

O‘chirilgan pozitsiyalar Rid-Solomon kodi bilan qayta tiklanadi, modomiki o‘chirish xato pozitsiyalarni yetarlicha ko‘rsatib bera olarkan, balki o‘chirilgan pozitsiyalarni to‘g‘irlashga ishlatiladi.

Rid-Solomon kodlari so‘nggi maydon ustida quriladi. Aytib o‘tilganidek, bunday maydon har qanday R uchun hosil qilinishi mumkin va $GF(R)$ kabi belgilanadi. $GF(R)$ tushunchasi R^m elementlaridan iborat $GF(R)$ maydon kengaytmasi bilan nomlangan, kengaytirish darajasi $GF(R^m)$ bo‘lgan maydonda umumiyashtiriladi. $GF(2^m)$ maydon kengaytmasida belgilar Rid-Solomon kodlarini qurishda ishlatiladi.

Rid-Solomon kodning umumqabul qilingan ko‘rinishi (n_2, k_2, t_2) parametri va qandaydir $m > 2$ hisoblanadi, bu yerda t_2 – xatolarni kod bilan to‘g‘irlash soni. Rid-Solomon kod uchun umumlovchi polinom ushbu ko‘rinishga ega:

$$g(x) = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 x^2 + \dots + \alpha_{2t-1} x^{2t-1} + \alpha_{2t} x^{2t}.$$

Rid-Solomon kodning axborot belgilar umumiy soni ikkilik maydonda $GF(2^m)$ ushbu ifoda orqali baholanadi: $K = (2^m)^{k_2}$.

Tasavvur qilamiz $k_2=2, m=3$, unda $K=64$ ga teng bo‘lsin. Bunda Rid-Solomon kodning axborot razryadlari orasida xuddi o‘sha $GF(2^m)$ maydonidagi a‘zo 0 dan α^6 gacha birinchi o‘rinda $2^{(k_2-1)m}$ guruh kombinatsiyasida shakllanadi.

Sezilarliki, barcha kodli kombinatsiyalarning X5 razryadi (Rid-Solomon kodni $n_2 = 7, k_2 = 2$ bilan tasvirlaydi) klaster deb ataladigan, konkret guruh kombinatsiyasini aniqlaydi. Klasterlar sonini X5 razryadi o‘rnidagi baza maydoni primitiv element darajasi kabi aniqlaymiz. Hosil bo‘ladigan kod polinomi quyidagicha aniqlanadi:

$$g(x) = (x - \alpha) * (x - \alpha^2) * (x - \alpha^3) * (x - \alpha^4) * (x - \alpha^5) = x^5 + x^4 \alpha^2 + x^3 \alpha^3 + x \alpha^4 + \alpha$$

Bu yerda qo‘shish va ayrish operatsiyalari ikkilik maydonda tengligi hisobga olingan. Rid-Solomon kodning umum mashhur xususiyatlaridan tashqari keyingi muhokamalar nuqtai nazaridan muhim bo‘lgan xususiyatlarini ko‘rsatib o‘tamiz.

1-xossa. Istalgan sistematik Rid-Solomon kodi o‘zini tarkibida n_2 bir xil q -lik elementlardan iborat $2^{k_1} - 1$ kombinatsiyalarga ega. Ikkilik guruh kodi toza yagona elementga (yagona kombinatsiya) ega ekan, q -lik kod $GF(2^m)$ maydonidagi bir xil elementlardan iborat kombinatsiyalardan tashkil topishi kerak, misol uchun, $\alpha^3 \alpha^3 \alpha^3 \alpha^3 \alpha^3 \alpha^3 \alpha^3$.

Ko‘rilayotgan kodning parametrlari chegarasida 5ta birinchi belgilar tekshirish, oxirgi ikkitasi esa axborot belgilaridir. Ko‘rib o‘tilgan xossa ma‘lumotlarni sinxron qo‘llash usuli va kodli kombinatsiyalarni majoritar usul bilan dekodlashda ham qo‘llanilishi mumkin. Bunday kodlarni qo‘llash umumlashtirilgan kaskad kodlarni qo‘llash protsedurasida majburiy talabdir.

2-xossa. Rid-Solomon kodning kodli kombinatsiyalari barcha V ko‘phadi hosil bo‘ladigan polinomning xar bir x^i razryadi uchun

$GF(2^m)$ maydonidagi bir xil sonli elementlardan iborat. Boshqacha qilib aytganda har bir maydon element Rid-Solomon kodining kodli kombinatsiyalari umumiy ko'pxadining har bir x^i razryadi bir xil zichlikda taqsimlangan. Misol uchun, ko'rilayotgan Rid-Solomon (7, 2, 6) kodi, α elementi x_0 yoki boshqa baza maydonidagi istalgan boshqa element razryadi uchun q marta qaytarilsin. Bu xossaning natijasi faktli, kodli kombinatsiyaning har bir razryadida belgilarning buzilishi $p = (q-1/q)$ ehtimollik bilan sodir bo'lishi mumkin.

3-xossa. 1-xossaga javob bermaydigan sistematik (sistematik bo'lmagan) Rid-Solomon kodining istalgan kombinatsiyasida maydonning nollik elementi bilan almashtirilgan 1 ta maydon elementi bo'lmaydi. Bu xossa Rid-Solomon kodining kodli kombinatsiyasi uzunligi $n = 2^m - 1$ dek belgilangan ta'rifdan va siklik xossasidan kelib chiqadi.

Keltirilgan xossalar asosida Rid-Solomon kodining ko'p kodli kombinatsiyalarida bunday kodning yuqori chegarasini xato dekodlash ehtimolligi uchun baholash mumkin. Mulohaza sifatida belgilaymizki, istalgan Xemming d_{\min} metrikasiga ega kod $d_{\min} = 2t + S$ xato va yo'qotishlarni to'g'rilashga qodir, bu yerda t – kodli kombinatsiyada xatolar soni, s – yo'qotishlar soni. Yo'qotishlarni to'g'irlaganda t qiymatni bir deb qabul qilish maqsadga muvofiqdir. Bu belgilangan ehtimollik qismida xatolik belgilari yo'qotilmagan maksimal baholash diskret xabarlar manbasiga ega belgilar orasida bog'liq. $t=1$ deb qabul qilarkanmiz, yo'qotishlarni to'g'irlash uchun bir qancha zaxira olamiz. Unda $d_{\min} = 2 + S$ va qat'iyon $S = d_{\min} - 2$. Bu kod bilan to'g'irlanadigan va aniqlanmagan xato kelib chiqqan holatda to'g'irlash qobiliyatini ta'minlovchi yo'qotishlar sonidir. Mayli, ichki kod bilan xatolar aniqlansin va xatoliklar bilan aniqlangan q -lik belgilar o'chirilsin, agar o'chirilgan bloklar soni $n_2 - k_2$ dan ko'p bo'lsa, Rid-Solomon kodining barcha kodli kombinatsiyalari o'chiriladi, lekin o'chirishlar soni $n_2 - k_2$ dan kam yoki teng bo'lsa, Rid-Solomon kodi kodli kombinatsiyalar orqali yo'qotishlar to'g'irlanadi. Agar o'chirilmagan q -lik belgilar biror kodli kombinatsiya belgilariga muvofiq joylar bilan mos tushsa, tashqi kod xatolarni aniqlamaydi.

Bunday konstruksiyada ikkita juda kerakli xossa kelib chiqadi (4.5-rasm). Ulardan birinchisi shundan iboratki, yuqori sifatli aloqa kanallar sharoitida adaptiv rejimlardan foydalanishda kodning tezligi

tashqi kodning tekshirish razryadlariga xos tekshirish belgilarini tashish hisobiga oshirilishi mumkin.

Axborot	Tashqi kod tekshiruvi
Axborot razryadlar tekshiruvi	Tekshiruvlar tekshiruvi

4.5-rasm. Kaskad kod so‘zi konstruksiyasi

Kaskad kod so‘zi konstruksiyaning ikkinchi foydali xossasi ushbu ifodalanayotgan so‘z orqali to‘g‘ridan – to‘g‘ri belgilarni oralatish protsedurasini matritsaga qo‘llash imkoniyati hisoblanadi. Belgilarni oralatish protsedurasi qandaydir qiymatdagi matritsa xotirasini axborot razryadlari bilan oldindan to‘ldirishdan iborat. Agar axborot manbasidan ma‘lumotlarni yozish qatorlar orqali amalga ohsa, unda to‘ldirishdan so‘ng aloqa kanalida ma‘lumotlarni o‘qish qatorlar bo‘yicha amalga oshadi. Bu aloqa kanalida guruhlashgan xatolar ko‘rinishida paydo bo‘ladigan murakkab xatolarga qarshi turish uchun qilinadi. Agar ushbu turdagi p_s , aloqa kanalidagi belgida o‘rtacha xatolik ehtimolligi aniq bo‘lsa, unda xatolik pachkasi ichida bu parametrning qiymati p_{guruh} bo‘ladi, bunda $p_{guruh} \geq p_s$. Bu kabi qurilmalar tasvirlangan va xatolar dekorrelyatori kabi nomga ega.

Uzatish ketma-ket ma‘lumotlar ustunini ustun ko‘rinishida xotira matritsasi tarkibi bo‘yicha o‘xshash matritsaga chiqishda qayd qiladi va yozadi. Matritsani kirishda to‘ldirishdan so‘ng, ma‘lumotlar dekoderga qatorlab ko‘chirilib chiqiladi.

Aloqa kanalida guruhlangan xatolar qatorlar belgilariga ta‘sir qilar ekan, dekoderga kirishda matritsadan kombinatsiyalarni qatorlab o‘qiganda topib to‘g‘irlab bo‘ladigan xatolar chegaralangan soni bo‘ladi. Bu kabi qurilmalarni qo‘llash ma‘lumotlarni qayta ishlashda protsessor qabul qilgichlari yuqori chastotalarda ishlaganda uncha katta bo‘lmagan kechikishlar bilan bog‘liq.

Takomillashgan kodlar. G hosil qiluvchi matritsali va H tekshirish matritsali GF(q) ustidan chiziqli (n, k, d) blokli kodni S bilan belgilaymiz.

s , $0 < s < k$ butun son bo‘lsin. Umumiy holda chiziqli qisqartirilgan $(n-s, k-s, d_s)$ kod masofaga ega bo‘ladi. Kodning hosil qiluvchi matritsasi

dastlabki kod G matritsasi dan quyidagi tarzda olinishi mumkin. G matritsa muntazam shaklda, ya'ni quyidagicha berilgan bo'lsin:

$$G = \begin{pmatrix} I_k \\ P \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

U holda C_s qisqartirilgan kod G_s hosil qiluvchi matritsasi $(k-s) \times (n-s)$ I_k birlik matritsaning s ustunlarini va tanlangan (o'chiriladigan) ustunlar mos nol bo'lmagan s satrlarini o'chirish bilan olinishi mumkin. Bu operatsiya quyidagi misolda ko'rsatilgan.

1-misol Xemming (7,4,3) kodini ko'rib chiqamiz.

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

Qisqartirilgan (5, 2, 3) kodni qurish uchun G matritsa to'rtta chapki ustunlaridan istalgan ikkitasini o'chirish mumkin. Birinchi ikkita ustunlar va demak G matritsaning birinchi va ikkinchi satrlari o'chiriladi deb olamiz. Bu ustunlar va satrlar (4.2) ifodada qalin shriftda belgilangan. Qolgan elementlar matritsani tashkil etadi:

$$G_s = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (4.2.1)$$

Qisqartirilgan kodni dastlabki kodga nisbatan tuzatish xossalarini kuchaytirishini tushunish uchun 1-misoldan qisqartirilgan kodning standart jadvalini o'rganish juda foydali bo'ladi.

Standart jadvaldan kelib chiqadiki, Xemming ikki vaznli hatoliklarining ikkita birikmalari, aynan 11000 va 01100 mavjud bo'lib, ular kodning minimal masofasi 3 ga teng qolsada, tuzatilishi mumkin.

Payqaymizki, yuqorida tavsiflangan kodni qisqartirish operatsiyasi uning uzunligi va o'lchamliligini kamaytiradi, tekshirish simvollarini soni esa oldingicha qoladi.

Qisqartirilgan (5, 2, 3) kodning standart jadvali

s	U=00	U=10	U=01	U=11
000	00000	10110	01011	11101
110	10000	<u>00110</u>	11011	01101
011	01000	11110	<u>00011</u>	10101
100	01100	10010	01111	10101
010	00010	<u>10100</u>	<u>01001</u>	11111
001	00001	<u>10111</u>	<u>01010</u>	11100
101	<u>11000</u>	01110	10011	<u>00101</u>
111	01100	11010	00111	<u>10001</u>

Demak, ko'proq xatoliklar kombinatsiyalari soni tuzatilishi kerak. Buni t xatoliklarni tuzatadigan chiziqli blokli (n, k, d) kod uchun Xemming yordamida oson isbotlanadi, u qulaylik uchun quyida keltiriladi:

$$2^{n-k} \geq \sum_{i=0}^t \binom{n}{i} \quad (4.3)$$

Dastlabki (n, k, d) kodga nisbatan uning qisqartirilgan versiyasi $(n-s, k-s, d_s)$ o'sha ortiqchalikka ega bo'ladi. Demak, (4.3) tengsizlikning chap qismi o'sha qiymatga ega bo'ladi. Boshqacha aytganda, aralash sinflar soni o'zgarmadi. Lekin boshqa tomondan, o'ng tomon $s > 0$ da kamaydi. Boshqacha aytganda, t yoki kam vazn xatoliklari kombinatsiyalari soni kamaydi. Agar dastlabki kod tengsizlik bilan Xemming (4.3) chegarasini qoniqtirmasa (ma'lumki, ikkilik kodlar orasida faqat Xemming kodi, Goley kodi, bitta tekshirishli kodlar va takrorlash kodlari tengsizlikni qanoatlantiradi), u holda

$$2^{n-k} - \sum_{i=0}^t \binom{n}{i}$$

farq dastlabki kod bilan tuzatish mumkin bo'lgan t katta vazn qo'shimcha xatoliklar kombinatsiyalari hisoblanadi. Qisqartirilgan kod orqali tuzatiladigan qo'shimcha xatoliklar kombinatsiyalari soni quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta_t 2^{n-k} - \sum_{i=0}^t \binom{n-s}{i} - \left(2^{n-k} - \sum_{i=0}^t \binom{n}{i} \right) = \sum_{i=0}^t \left[\binom{n}{i} - \binom{n-s}{i} \right] \quad (4.4)$$

ya'ni bir t radiusga, lekin turli n va $n-s$ o'lchamliliklarga ega bo'lgan Xemming sferalari hajmlarining farqiga teng bo'ladi.

Kengaytirish. Umumiy holda S kodni kengaytirish ε tekshirish simvollarini qo'shilishini bildiradi. Kengaytirilgan $S_{ext}(n+e, k, d_{ext})$ kod $d_{ext} \geq d$ minimal masofaga ega. Kengaytirilgan tekshirish $(n-k+\varepsilon)*(n+\varepsilon)$ matritsasi S kod N matritsadan ε satrlar va ustunlarni qo'shish bilan olinadi:

$$H_{ext} = \begin{pmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & h_{1,h+\varepsilon} \\ \bullet & \bullet & \bullet \\ h_{\varepsilon,1} & h_{\varepsilon,2} & h_{\varepsilon,h+\varepsilon} \\ \bullet & \bullet & H \\ h_{h-k+\varepsilon,1} & h_{h-k+\varepsilon} & \end{pmatrix} \quad (4.5)$$

Kodni kengaytirining eng ma'lum usuli juftlikka umumiy tekshirishni qo'shilishidan iborat. Bu holda kengaytirilgan matritsa quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$H_{ext} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \bullet & 1 \\ 0 & & & \\ 0 & H & & \\ 0 & & & \end{pmatrix} \quad (4.6)$$

Natijada $C_{ext}(n+1, k, C_{ext})$ kodni olamiz. Agar dastlabki kodning masofasi toq bo'lsa, u holda bo'ladi $C_{ext} = d+1$.

Misol. C Xemming (7,4,3) kodi bo'lsin. U holda kengaytirilgan $C_{ext}(8,4,4)$ kod quyidagi tekshirish matritsasiga ega bo'ladi:

$$H_{ext} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4.7)$$

Ustunlarning joylarini almashtirish bilan bu matritsa $RM_{1,3}$ Rid-Maller kodi hosil qiluvchi matritsasiga aylanadi, u o'zi dual kod hisoblanadi.

Birlashgan kodlar. Kodlarni kombinatsiyalashning usullari texnika yordamida juda kuchli natijalarni olish mumkin, bu 1993 yilda turbo kodlarning paydo bo'lishi bilan tasdiqlanadi. Endi qo'shimcha

Kodlarning navbatlashish texnikasi xatoliklardan turli himoyalash darajali yoki xatoliklardan tengsiz himoyalashni talab qiladigan aloqa tizimlarida keng ishlatiladi.

Yana payqaymizki, o'sha bitta kodni m -karrali ketma-ket ulanishi kodli so'zni m -karrali takroran uzatilishiga ekvivalent bo'ladi.

Kodlarning to'g'ri yig'indilari. $C_i (n_i, k_i, d_i)$, $i = 1, 2, \dots, m$ parametrlarli chiziqli kodni bildirsin. Kodlarning C_{DS} to'g'ri yig'indisi

$$C_{DS} = \{v/v = v_1 + v_2 + \dots + v_m, v_i \in C_i, i = 1, 2, \dots, m\} \quad (4.10.2)$$

sifatida aniqlangan.

Bu texnika kodning o'lchamliligini oshirishga imkon beradi. Lekin, bunda odatda masofa kamayadi. $i = 1, 2, \dots, m$ uchun C_i komponentli kodning hosil qiluvchi matritsasini G_i orqali belgilaymiz. U holda komponentli kodlar to'g'ri yig'indisi sifatida qurilgan $G_{DS} = G_1 + G_2 + \dots + G_m$ kodning hosil qiluvchi matritsasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$G_{DS} = \begin{pmatrix} G_1 \\ G_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ G_m \end{pmatrix} \quad (4.11)$$

G_{DS} kod $d < \min_i\{d_i\}$ kod masofali $k < k_1 + k_2 + \dots + k_m$ o'lchamlilik chiziqli blokli (n, k, d) kodi hisoblanadi.

Misol. $C_1 (4, 1, 1)$ kod-takrorlanish va C_2

$$G_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4.11.1)$$

hosil qiluvchi matritsali chiziqli blokli $(4, 2, 2)$ kod bo'lsin. (Bu kod ikki bitli xabarning ikki karrali takrorlanishiga ekvivalent bo'ladi). U holda $G_{DS} = G_1 + G_2$ kod bitta tekshirishli va

$$G_{DS} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4.11.2)$$

hosil qiluvchi matritsali chiziqli blokli (4,3,2) kod hisoblanadi.

Kodlarning to'g'ri yig'indi texnikasi nafaqat kichik o'lchamlilikdagi kodlarni kombinatsiyalash uchun, balki C komponentli nimkodlar to'g'ri yig'indisi orqali berilishi mumkin bo'ladigan ayrim kodni $C_i \subset C$ nimkodlar birlashmasiga yoyilishi uchun ham ishlatilishi mumkin.

Ravshanki, istalgan G hosil qiluvchi matritsa chiziqli blokli (n, k, d) kod C_i , $1 < i < k$ chiziqli blokli (n, l, d_i) nimkodlarga kompozitdan yoyilishi mumkin. Bu nimkodlardan har biri G matritsaning bitta g_i satridan tashkil topganga ega bo'ladi.

Nazorat savollari:

1. Kaskad kodning tuzilish sxemasiga tushuncha bering?
2. Kaskad kod so'zi tuzilishi qanday?
3. Takomillashgan kodlarga tushuncha bering?
4. Birlashgan kodlarga tushuncha bering?

4.2. Turbo kodlar. Yengil yechimli dekodlash

Turbo-kod parallel kaskad – blokli tizim kodi bo'lib, u raqamli ma'lumotlarni shovqinli aloqa kanalida uzatishda yuzaga keladigan xatolarni to'g'irlash imkonini beradi.

Turbo kodning ma'nodoshi sifatida 1966 yilda D. Forni tomonidan taklif etilgan kodlash nazariyasiga ma'lum bo'lgan atama kaskadli (*concatenated code*) kod deb ataladi.

Turbo-kod parallel kaskad bog'langan tizim kodlaridan tashkil topgan. Bu tashkil etuvchilar kodning komponentalari deb ataladi.

Kodning komponentalari sifatida:

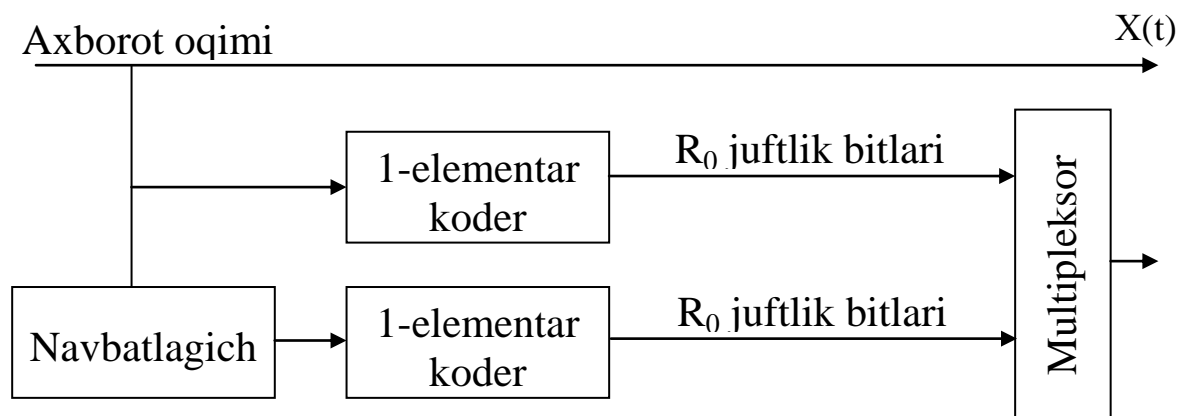
- o'ralgan kodlar;
- Xemming kodlari;
- Rid - Solomon kodlari;
- BChX kodlari va boshqa kodlar foydalaniladi.

Turbo kodning tashkil etuvchisi (komponentasi) ga qarab ular o'ralgan turbo (*Turbo Convolutional Codes, TSS*) kodlar hamda blokli (*Turbo Product Codes, TPC*) kodlarga bo'linadi.

Turbo-kod 1993 ishlab chiqilgan bo'lib, yuqori samarali xatolarni to'g'irlovchi, shovqinbardosh kodlar sinfiga kiradi. Elektrotexnikada va raqamli aloqa kanalida, su'niy yo'ldoshli aloqa sohalarida, shuningdek chegaralangan chastota sathida shovqinli aloqa kanali bo'ylab yuqori tezlikda ma'lumot uzatish uchun zarur bo'lgan sohalarda qo'llaniladi.

Turbo – kodning tuzilishi. Shennon qoidasiga ko'ra eng yaxshi kod sifatida, ma'lumotlarni uzluksiz vaqt ichida uzatadigan va vaqtning har bir lahzasida tasodifiy kod elementlarini shakllantiradigan kod hisoblanadi.

Turbo-kodni shakllantirilishi 4.6-rasmda tasvirlangan, bunda turbo koderning umumlashtirilgan tuzilish sxemasi keltirilgan.



4.6-rasm. Turbo koderning tuzilish sxemasi

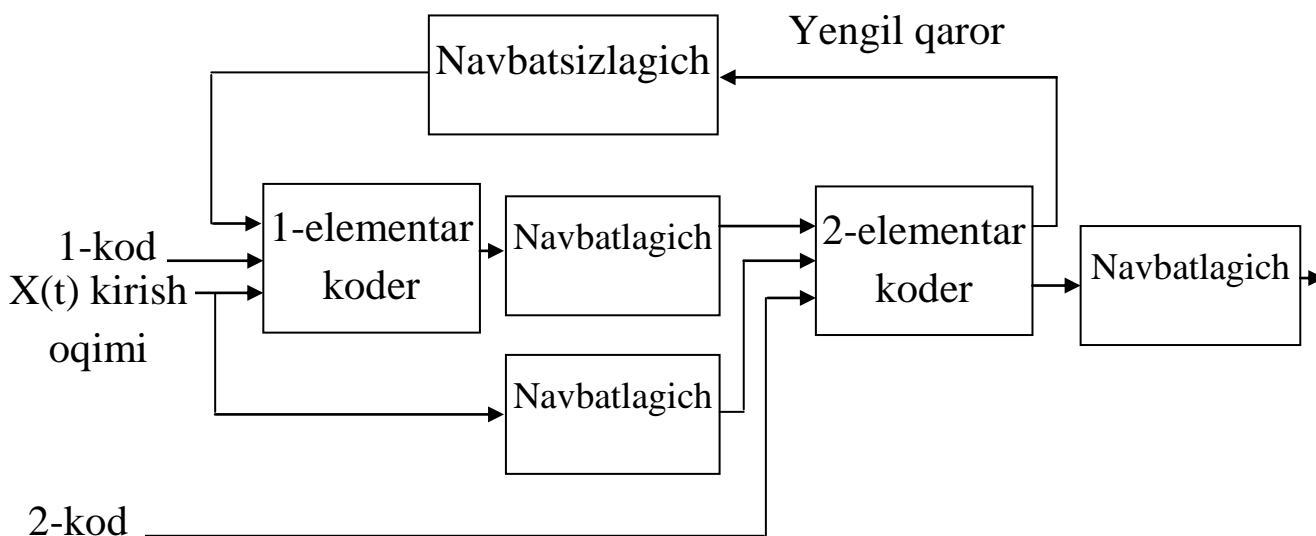
Kodlash protsedurasi ikkita muntazam rekursiv kodlardan foydalanishga asoslangan. k bitlardan tashkil topgan $X(t)$ kirish signali birinchi elementar koderga beriladi, ikkinchisiga esa k bitlardan blokda elementlarni o'rinlarini almashtirishni bajaradigan navbatlagich orqali beriladi. Navbatlagich turbo-kodlarni dekodlashda korrelyatsiyalangan xatoliklar ketma-ketliklarining paydo bo'lishini oldini oladi, bu juda muhim, chunki dekodlash usuli iterativ hisoblanadi. Axborot simvollarini koderning chiqishiga hech qanday ishlov berishsiz va kechikishsiz uzatiladi.

Navbatlagichning chiqishidan kelish tartibi o'zgartirilgan simvollar ikkinchi elementar koderga beriladi. Koderlar chiqishidagi X ikkilik ketma-ketliklar axborot bitlari bilan yagona kodli so'zni hosil qiladigan tekshirish simvollarini hisoblanadi.

Elementar koderlar turlicha bo'lishi va har xil tuzilishlarga ega bo'lishi mumkin. N elementar koderlar soni ham ixtiyoriy bo'lishi

mumkin. Turbo-koderning natijaviy tezligi umumiy holda formula bo'yicha aniqlanadi. Xususan, ikkita $R=1/N+1$ bir xil elementar koderlar ishlatilganida natijaviy kodlash tezligi $R=1/3$ ga teng bo'ladi, $N=3$ da esa $R=1/4$ gacha kamayadi va h.k..

Ikkita elementar koderlardan tashkil topgan turbo dekodeer sxemasi 4.7-rasmda keltirilgan. Dekoderlardan har birida yengil qarorli algoritim ishlatiladi, ular orasidagi ma'lumotlarni almashlash esa har bir iteratsiyaning oxirida amalga oshiriladi.



4.7-rasm. Ikkita elementar koderlardan tashkil topgan turbo dekodeer sxemasi

Ikkinchi elementar koderning kirishiga kanalda buzilgan 1-kodning axborot va tekshirish simvollari, shuningdek oldingi operatsiyada ikkinchi dekodeer orqali aniqlangan yengil qaror beriladi. Bu kirish ma'lumotlaridan foydalanish bilan dekodeer navbatdagi iterativ dekodlashni amalga oshiradi.

Hisoblashlar natijasida dekodlanadigan simvollarning maksimal faktlarga asoslangan ehtimolligini baholash vektori shakllantiriladi. Baholash vektori axborot bitlari kabi ikkinchi elementar dekodeerga koderda ishlatilgan o'sha qonun bo'yicha simvollarning tartibini o'zgartiradigan navbatlagich orqali beriladi. Bundan tashqari, ikkinchi elementar dekodeerga 2-kod tekshirish simvollari beriladi.

Boshqacha aytganda, iterativ dekodlash usulining g'oyasi shundan iboratki, dekodeerlar dekodlanadigan simvollar haqidagi qo'shimcha ma'lumotlarni yengil qarorlar ko'rinishida bir-birlaridan olishi mumkin. Iteratsiyalar soni cheksizlikka yaqinlashishi bilan birinchi (yoki ikkinchi) dekodeerning chiqishidagi baholash faktlarga asoslangan ma'lumotlarning

maksimumini yechilishiga yaqinlashadi. Qat'iy qaror faqat oxirgi iteratsiya tugaganidan keyin qabul qilinadi. Chiqishga signal simvollarni kelishining dastlabki tartibini qayta tiklaydigan navbatsizlagich orqali beriladi.

Turbo-dekoderning amaliy ishlatilishi qator qiyinchiliklarga, asosan, dekodlash algoritmlarining katta hisoblash murakkabligi keltirib chiqaradigan qiyinchiliklarga bog'liq.

Hozirgi vaqtda SOVA (Soft-decision Outputs Viterbi Algorithm) nomi bilan ma'lum bo'lgan yengil qarorli modifikatsiyalangan Viterbi algoritmini ishlatilishiga imkon beradigan DSP protsessorlardagi turbo-dekoderlarning amaliy sxemalari ishlatiladi.

Ta'kidlash kerakki, ikkita ko'rib chiqilgan hol (bitga 10^{-3} va 10^{-6} xatoliklar ehtimolliklari orqali aniqlanadigan QoS bilan nutq va ma'lumotlarni uzatish) bo'lishi mumkin kodlarning butun spektrini tugatmaydi. Ba'zan radiointerfeysning funksional imkoniyatlarini kengaytirish uchun ma'lum kodlar sinfini aniq bir ma'lumotlarni uzatish turiga moslashtirish talab qilinadi, buning uchun maxsus kodlar ishlatiladi. Maxsus kodlarga misollardan biri nutq kodeklarining ayrim turlariga zarur bo'ladigan xatoliklardan notekis himoyalash hisoblanadi. Maxsus kodlashning boshqa variantlari ham bo'lishi mumkin.

Qabul qiluvchida tasodifiy tarzda buzilgan, turli cheksiz ma'lumotlar mavjud bo'ladi. Dekoder bu nusxalardan yuborilgan xabarga yaqin (mos) bo'lgan nusxani tanlashi kerak. Bu o'z navbatida nazariy jihatdan o'zi bilan signalda barcha xatolarni to'g'irlash imkonini beruvchi mukammal kodni taqdim etadi. Turbo-kod bu yo'nalishda ilk qadam hisoblanadi.

Ma'lumki, biz uzluksiz vaqt davomida cheksiz marta xabar uzatmaymiz. Aloqa kanallarini uzluksiz ishlashini ta'minlash uchun, uzatish vaqtini ikki yoki uch martaga oshirish yetarli darajada yaxshi natijaga olib keladi.

Turbo kodlarning o'ziga xos xususiyati, ularning o'ralgan rekursiv (RSC) usulda parallel tuzilganligi bo'lib, ular parallel ishlaydi va tasodifiy xabar turlarini hosil qilishda foydalaniladi. Parallel tuzilishga ega ikki yoki undan ortiq RSC kodlarning har biri boshqa o'zgartirgichlarda qo'llaniladi. O'zgartirgichning maqsadi shundan iboratki, har bir koder qurilmasiga to'g'irlanmagan turli tasodifiy ma'lumotlarni taklif etadi, natijada RSCning har bir bitlari mustaqil prioritetga ega bo'ladi.

Turbo kodlarda bloklar bir nechta tartibdagi Kbit uzunligiga ega. Bunday uzunlikka ega bo'lishdan maqsad, ikkinchi koder qurilmasiga

o'tayotgan ketma - ketlikni samarali tekshirishdan iborat. Blok uzunligining miqdori qanchalik qo'p bo'lsa, birinchi koder qurilmasidagi ma'lumotlar to'g'riligi shuncha yaxshi bo'ladi.

Turbo kodning bir nechta sxemasi mavjud:

- yaxshiroq parallel o'ralgan kodlar holatida;
- yuqori tavsifga ega shovqinli signalga aloqador holda ketma – ket ulangan o'ralgan kodlar;

- turbo-kod-mahsuli, O'Klar o'rniga blokli kodlarni qo'llaydi, ikkita boshqa turdagi kodlar (odatda Xemming kodlari) ketma- ket ulangan oraliqqa ega bo'lmaydi, ikkita kod bir - biriga bog'liq bo'lmagan, qatorlar va ustunlar holida ishlaydi, bu esa o'z navbatida yetarli darajada yaxshi tekshirishga olib keladi va o'zgartirgichni qo'llash zaruriyatini talab etmaydi. Umumiy M- blokli turbo koderning tuzilish sxemasi 4.8-rasmda keltirilgan.

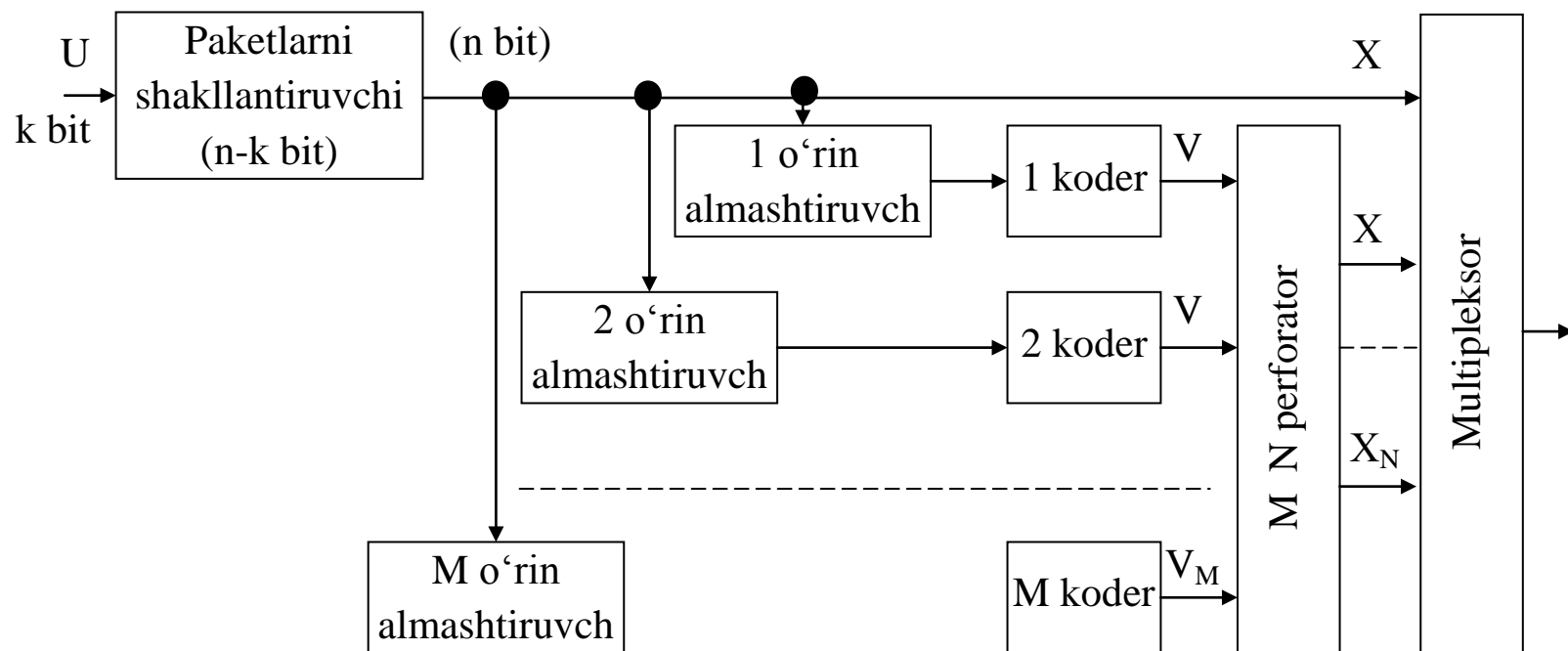
Dastlab paketlarni shakllantiruvchining PAD (*Packet assembler/Disassembler*) kirishiga U uzunlikdagi k bitli blok ma'lumotlari kelib tushadi. Ma'lumotlarni shakllantiruvchi paketga $(n-k)$ ga shu jumladan boshlang'ich va tugash belgilarini o'z ichiga oluvchi foydalanilayotgan paketlarni shakllantirish standartiga muvofiq holda qo'shimcha bit xizmat ma'lumotlarni qo'shadi. Bunda n bitdan tashkil topgan X_0 paket hosil qilinadi.

Keyinchalik ketma-ket X_0 bitlari parallel tarzda ketma - ket bog'liqlikni va koderda komponentni saqlagan holda M shoxga kelib tushadi. Shu tariqa X_0 barcha koder komponentlariga tezda kiruvchi ma'lumotlar sifatida foydalaniladi.

Turbo-kodlarda navbat. O'zgartirgichga tasodifiy qonunlar asosida kelib tushayotgan bitlarning aralashishi kuzatiladi (sodir bo'ladi).

Rid-Solomon kodlarida foydalanuvchi, belgili to'rtburchakli o'zgartirgichlardan farqli ravishda, turbo kodlarda tasodifiy o'rin almashtirib qo'yish singari bitlarda alohida ketma - ketlikdan foydalaniladi.

Dekoderlash jarayonidan keyin o'zgarish qonuni ma'lum deb hisoblanadi. Koderning kirishiga ketma-ket tarzda qabul qilingan ma'lumotlar kelib tushadi.



4.8-rasm. Umumiy M- blokli turbo koderning ishlash tartibi

O'zgartirgichga qo'yiladigan masala shundan iboratki, kiruvchi ma'lumotlar ketma-ketligini, X_0 bit kombinatsiyalarining so'zli kodiga past vaznga mos kelishini va chiquvchi birinchi koder qurilmasining o'zidayoq barcha chiquvchi koder qurilmalari uchun kodli so'zlarni yuqori ishonchlilikka o'zgartirib berishini ta'minlashdan iborat. Buning oqibatida, turli vazndagi kodli so'zlar koderning chiqishida qabul qilinadi.

Kodlash jarayonida ikkita kodli so'zlar orasidagi o'rtacha masofa eng yuqori darajada bo'lishga intiladi.

Kodli bloklar deyarli bog'liq bo'lmagan qismlardan tashkil topganligi sababli, turbo koderning chiqishidagi o'rtacha masofa kodli so'zlar o'rtasidagi masofadan katta va har bir koder komponentlari orasidagi masofa qanchalik kichik bo'lsa koderning samaradorligi shunchalik yuqori bo'ladi.

Kodning tezligi. Kodning tezligi o'zgartirgich kirishidagi va koderning chiqishidagi kod blokining uzunligiga bog'liq. Perforatorning yo'qligi dastlabki X_0 ketma - ketlikni kanal bo'ylab uzatuvchi V_1, \dots, V_M bitlar asosida multipleksorlaydi. Turbo koderning chiqishidagi kodning tezligi quyidagi formulaga teng:

$$R = \frac{k}{n(M + 1)}$$

Kodning tezligini oshirish uchun, chiquvchi ketma- ketlikdagi aniq tekshiriluvchi bitlar hisobi qo'llaniladi. Shu tarzda kodning tezligi:

$$R = \frac{k}{n(N + 1)} \text{ gacha o'sadi.}$$

$N < M$ hisobidan so'ng tekshiriluvchi bitlar n marta oshirilmagan bo'lsa, N bo'lingan bit bo'lishi mumkin. Turbo kodlar katta uzunlikdagi $k > 10000$ bloklari bilan bajarilsa $k \approx n$ bog'liqlikdagi kodning tezligi quyidagiga teng:

$$R = \frac{1}{N + 1}$$

Keltirilgan formuladan ko'rinib turibdiki, perforator yordamida tekshiriluvchi bitning har-xil sonlarini hisoblagan holda, kod tezligini me'yorlashtirish mumkin.

Shunday ekan, aloqa kanalida moslashishga bog'liq bo'lgan koder qursa bo'ladi. Kanalning shovqinbardosh yuqori koder tezligiga nisbatan,

shovqinli holatida perforator kam bit hisoblaydi. Agar aloqa kanali yaxshi sifatga ega bo'lsa, ma'lumot uzatish tezligini oshirishga yordam beruvchi katta bitlar sonini hisoblash mumkin.

Dekodlash. Dekodlash algoritmi yuqori ehtimollik tajribaga asoslangan holda, amalga oshiriladi. Dekodlash jarayonida xatolarni to'g'irlash, to'g'ri kodli so'zning o'tishiga erishish uchun aprior va aposterior ehtimollikka asoslangan holda amalga oshiriladi.

Kodli so'zning dekoderga kelib tushgunicha bo'lgan ma'lumot **aprior**, kodli so'zni qayta ishlab bo'lingandan keyin qabul qilingan ma'lumot, **aposterior** deb yuritiladi.

Berrou o'z ish faoliyatida turbo dekoderlarda yuqori ehtimollikka ega aprior algoritmdan foydalanishni taklif etadi (*Maximum of A-posteriori Probability, MAP*), shuningdek Bala algoritmidan foydalanishni ham qo'llab quvvatlaydi.

Bala algoritmi dekodlangan bitlar uchun «yengil» ishonchlilikni beradi. Ya'ni chiquvchi sathda dekodlashni ishonchli natijaga erishishini ta'minlaydi. Qattiq struktura esa, dekoderning chiqishida dekodlangan bitning eng katta qiymatini shakllantiradi. Yumshoq strukturada hisoblashda chiquvchi signalning batafsilroq bo'lgan diskretizatsiyasi ishlatiladi. U berilgan bitning ehtimoli to'g'riligini xarakterlaydi. Yumshoq yechimni qo'llash tufayli turbo dekoderlarda bir nechta dekoderlash iteratsiyalari samarali qo'llanilishi yuzaga keladi. Birinchi dekoderlash iteratsiyasining chiqishidagi kodli so'zning qabul qilingani aposterior ma'lumot deyiladi.

Keyingi iteratsiya blokiga qabul qilingandan so'ng aprior ehtimollik bo'ladi. Bunday yondashuv iteratsiyadan iteratsiyagacha bo'lgan dekoderlash sifatini yaxshilaydi. Shu tarzda dekoderlash iteratsiyasining qiymatini o'zgartirgan holda dekoderni joriy uzatuvchi kanalga moslashtirishimiz va talab etilgan bitlar xatoligini ehtimollikiga erishimiz mumkin.

4.9-rasmda ikki kaskadli bitta iteratsiyalangan turbo dekoderning kodlanish sxemasi keltirilgan. Bu sxema istalgan miqdordagi kaskadlarni kodlashda murakkab bo'lmagan umumlashgan yechim hisoblanadi. Bitta iteratsiyalangan dekoder ikkita kaskad dekoderning bog'lanishiga bog'liq bo'lgan holda, yuborilgan belgi to'g'risida yumshoq yechim chiqaruvchi yuqori aposterior ehtimollikka ega bo'ladi. Birinchi iteratsiyalangan dekoderga demodulyatorning chiqishidagi yumshoq yechimga ega bo'lgan X_0 va X_1 ketma - ketlik kelib tushadi. Shu tarzda birinchi dekoderning chiqishida ma'lumotli belgini bahosi hosil bo'ladi. Keyin

ikkinchi dekoder qurilmasining kirishiga o'zgargichdan o'tgan ma'lumot kelib tushadi va u aprior ma'lumot deb ataladi. X_2 ketma - ketlikda yumshoq yechimni qo'llagan holda, ikkinchi dekoder o'zining bahosini shakllantiradi.

Har bir chiquvchi iteratsiyalar yechimi keyingi kiruvchi ketma-ketlikka o'tadi. Uch iteratsiyalangan turbo dekoderning ishini tashkil qilish 4.10- rasmda keltirilgan. Iteratsiyadan iteratsiyaga o'tishda yechimlarni aniqlash sodir bo'ladi. Bunda har bir iteratsiya yumshoq baholash bilan ishlaydi va chiqishga ham yumshoq bahoni uzatadi. Shuning uchun bunday sxemalar yumshoq kirish va chiqishga ega bo'lgan dekoderlar deb yuritiladi (*Soft Input Soft Output (SISO)*).

Dekodlash jarayoni, barcha iteratsiyalar a'malga oshgandan so'ng yoki ehtimolli bitlar xatoligi talab etilgan ko'rsatkichga yetgandan so'ng amalga oshiriladi. Dekodlashdan so'ng hosil bo'lgan «yumshoq» yechimga, yakuniy «qattiq» yechim ishlab chiqariladi.

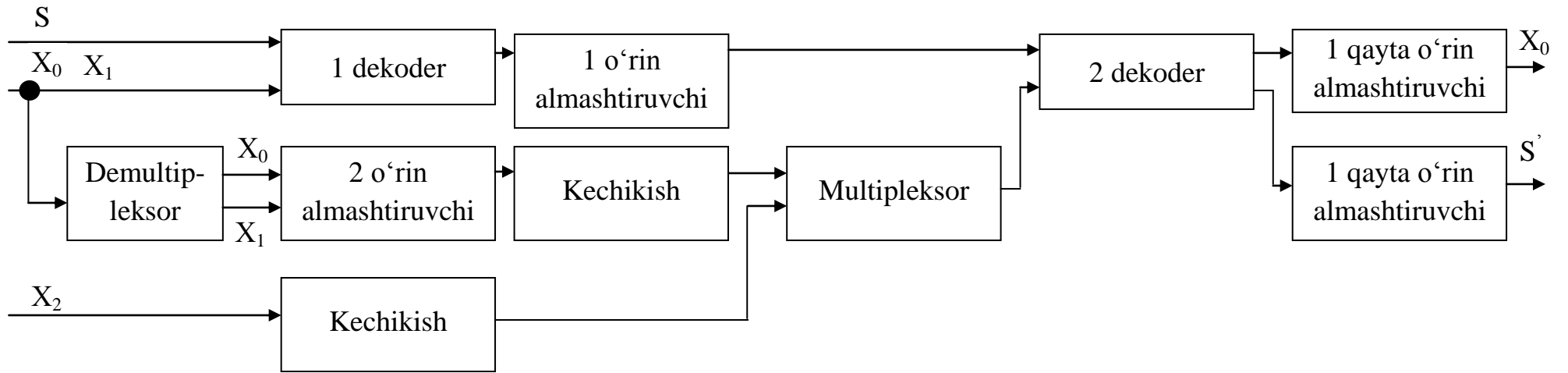
Turbo-kodning afzalliklari: amaldagi barcha foydalanilayotgan zamonaviy xatolarni to'g'irlash uslubidagi kodlar, turbo kodlar va zichlikka aniqlikni past tekshiruvchi kodlar, nazariy jihatdan shovqinli kanalda yuqori tezlikda ma'lumot almashish imkonini beradi, shu sababdan ular Shennon chegarasiga mos keladi.

Turbo kodlar uzatgichning quvvatini oshirmagan holda, yuqori tezlikda ma'lumot uzatish imkonini beradi. Ular berilgan tezlikda talab etilgan quvvatni pasaytirgan holda ma'lumot uzatishda foydalaniladi.

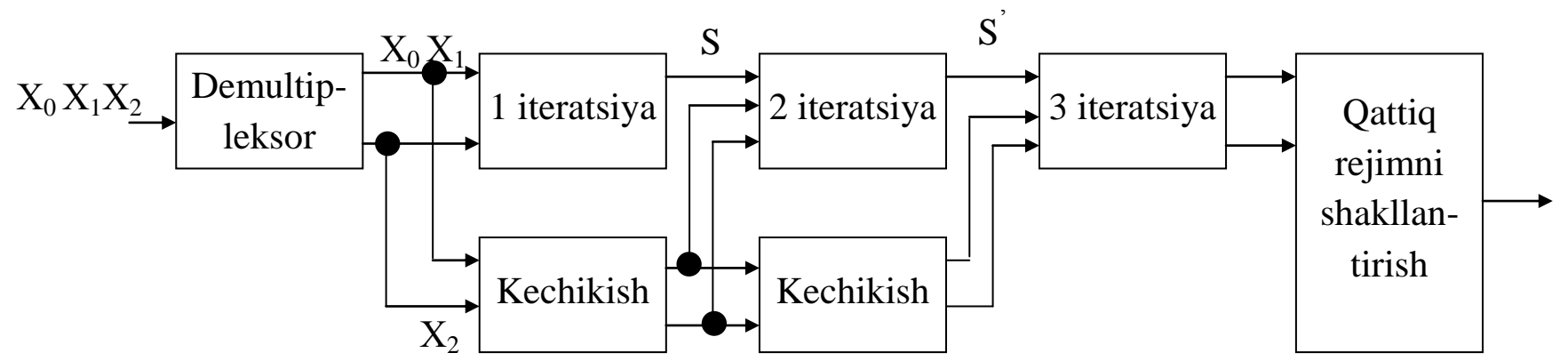
Turbo kodlarning asosiy xususiyatlaridan biri shuki, ma'lumot blokining uzunligiga bog'liq bo'lmagan holda, dekodlash jarayonining oson bo'lishidir. Ya'ni ma'lumotlar bloki kanchalik uzun bo'lsa dekodlashda xatolar ehtimolligining kamayishiga olib keladi.

Turbo-kodning kamchiliklari: dekodlashning murakkabligi va uzoq kutib qolishning mavjudligidir, bu esa ba'zi qo'llash sohalariga noqulaylikni hosil qiladi. Masalan, su'niy yuldoshli aloqa kanalida foydalanganimizda bu kamchilik aniq kamchilik hisoblanmaydi, chunki aloqa kanalining uzunligi oxirgi yorug'liq tezligi tomonidan chaqirilgan kutib qolishlarga ega.

Turbo kodlarning ya'na bitta asosiy kamchiliklaridan biri — kodlar masofasining uncha katta bo'lmagan taqqoslanishidir. Bu kiruvchi yuqori ehtimollik xatolarida (ya'ni yomon kanalda) turbo kodlarning samaradorligi yuqori, kichik kiruvchi xatolar ehtimolligida turbo kodlarning samaradorligi chegaralangan.



4.9-rasm. Ikkilik kaskaddagi iteratsiyalangan Turbo dekoderning bitta iteratsiyaning kodlanishi.



4.10-rasm. Ikki kaskadli kodlashda uch iteratsiyalangan turbo dekoder

Shu sababli yaxshi kanallarda xatolar ehtimolligini kamaytirish maqsadida turbo kodlar emas, balki LDPC- kodlari qo'llaniladi.

Turbo kodlashda murrakab algoritmlardan foydalansak ham, dasturiy ta'minotning ochiq bo'lmaganligi turbo kodlarni tatbiq etishda asosiy kamchilikdan biri deb hisoblanadi, shunga qaramay hozirgi kunda barcha zamonaviy tizimlar turbo kodlardan foydalanadi.

Turbo kodlarning qo'llanilishi. France Telecom kompaniyasi va Telediffusion de France keng sinfdagi turbo koderlarni ixtiro qilishdi. Ular turbo koderlarni ozod qo'llanilish imkoniyatlarini cheklab, o'sha vaqtning o'zida kodlashning LDPC ga o'hshagan yangi usullarni rivojlantirishni ishlab chiqishdi.

Turbo kodlar faol tarzda su'niy yo'ldoshli aloqa kanalida, mobil aloqada, simsiz kengpolosali tarmoqlarda va raqamli televideniya qo'llaniladi. Turbo-kodlar su'niy yo'ldoshli aloqa kanalida DVS-RSC standarti asosida tasdiqlangan. Shuningdek turbo kodlar o'zining keng sohalarda qo'llanishini uchinchi avlod aloqa mobil tizimlarda (standart CDMA 2000 va UMTS) topdi.

Yengil yechimli dekodlash. "Qattiq" yoki "Yengil" qaror qabul qilish. Blokli kodlarni ochish "Qattiq" yoki "Yengil" qaror qabul qilish yordamida amalga oshirilishi mumkin.

"Qattiq" qaror qabul qilish orqali kodni ochishda har bir qabul qilinayotgan bitga qabul qilinayotgan ma'lumotlardagi halaqitlarning me'yordan ko'p yoki kamligiga bog'liq ravishda 0 yoki 1 belgisi yoziladi.

Kod ochgichda xato borligini aniqlash, imkon bo'lganda xatoni to'g'irlash uchun qo'shilgan ortiqcha ma'lumot qo'llaniladi. Kod ochgichdan chiqayotgan ma'lumotlar – to'g'irlangan kodli so'zlar hisoblanadi.

"Yengil" yechimli qaror bilan qabul qilingan kod ochuvchi faqatgina 1 yoki 0 binar kattalikni qabul qilib qolmasdan, balki, berilgan bit bilan bog'liq ishonchli kattalikni ham qabul qiladi.

Agar modulyator bitga 1 belgisi birlashtirilishini aniqlasa, u holda ishonchlilik darajasi unda yuqori bo'ladi. Agar u kamroq aniqlansa, bu xolda u pastroq ishonchli kattalikka joylashtiriladi.

"Yengil" yechimga kiradigan kod ochuvchi "Qattiq" yoki "Yengil" yechimga ega qarorli ma'lumotlar chiqarishi mumkin.

Masalan, Viterbi kodni ochish qurilmasi "Yengil" yechimli axborotni qabul qiladi va "Qattiq" qarorli ma'lumotlarni chiqaradi. Kod ochuvchi "Yengil" yechimli ma'lumotni berilgan 0 yoki 1 bitning tengligini

aniqlash uchun ishlatishi mumkin. Bunda biz chiqayotgan bitdan shunday “Qattiq” qarorga ega bo‘lamiz.

Halaqitga qarshi kodlarni ochish. Tahrirli kodlarni qo‘llash jarayonida ikkilamchi signallarning kanal bo‘ylab shovqinli uzatilishini ko‘rib chiqamiz.

Halaqitga qarshi kodlarni ochishning ikkita usuli mavjud bo‘lib, ular amaldagi sonlarni ketma-ketlikda demodulyatsiya qilinishidan keyin olinishga asoslanadi:

“Qattiq” qaror orqali kodni ochish (*hard decision decoding*). Bu holatda amaldagi songa 0 yoki 1 taqqoslanadi, ya’ni kanaldan qabul qilingan birliklarga nisbatan “Qattiq” qarorlarni qo‘llash jarayonida qabul qilinayotgan belgilarning inversiyasi ko‘rinishidagi xato paydo bo‘ladi. Bunday holatda maksimal ishonchlilik tamoyili asosida kodni ochish uchun Xemming masofasidan foydalaniladi.

“Yengil” yechimli qaror orqali kodni ochish (*soft-decision decoding*). Kanaldan qabul qilingan birliklar darajalarning berilgan sonida kvantlanadi va darajalar bir nechta intervalda sonlar bilan kodlanadi, masalan, sakkizinchi darajali kvantlanishda -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4 birliklari vositasida kodlanadi. Bunday holatda maksimal ishonchlilik tamoyili asosida kodni ochish uchun odatiy Yevklid masofasidan foydalaniladi.

“Yengil” yechimli qaror. Umuman olganda, u yoki bu qarorni tanlashdan oldin aloqa kanalidagi shovqin statistikasini bilish maqsadga muvofiq. Bundan tashqari, shuni yodda tutish kerakki, “Qattiq” qaror orqali kodni ochish berilgan kodni ma’qul darajada tahrirlashni kafolatlovchi boy nazariy bazaga ega.

“Yengil” yechimli qaror uchun esa bunday nazariy baza deyarli mavjud emas. Boshqa tomondan olganda, “Yengil” yechimli qarorda kod ochgich tomonidan aniqlangan xatolar miqdori (darajalar sonining ko‘pligi hisobiga) “Qattiq” qarordagiga nisbatan kamroq bo‘lishini kutish mumkin va mos ravishda aynan bitta kod ko‘p miqdordagi xatolarni to‘g‘irlashi mumkin.

“Yengil” yechimli qaror orqali kod ochish qo‘llanilishining maqsadga muvofiqligi ma’lumotlarni tiklash yoki signal qabul qilishdagi shovqin komponenti o‘z tabiatiga ko‘ra diskret emas, balki uzluksiz bo‘lganligi bilan ham asoslanadi. Bu esa qabul qilingan belgilar $GF(2^m)$ yakuniy maydonning ikkilamchi belgilari bilan emas, balki, (kuchlanishga mos keluvchi) amaldagi sonlar bilan birmuncha tabiiyroq kvantlanishini bildiradi.

“Yengil” yechimli qaror uchun Viterbi algoritmi “Qattiq” yechimli qaror uchun bo‘lgan algoritmdan farq qilmaydi, faqatgina masofalar Xemming bo‘yicha emas, balki Yevklid masofasi bo‘yicha hisoblanishi bundan istisno.

Viterbi dekodlashtirish holatlari kabi mantiqiy elementlar 0 va 1 elektrik kuchlanish (-1) va (+1) ni taqdim qiladi. Axborot ketma-ketligi uchun tekshiruvchi simvollar quyidagi tarzda tuziladi: $a=(x_1, x_2, x_3, x_4)$.

Matritsa shaklidagi x_k ketma-ketlikni taqdim qilamiz:

$$L = \begin{pmatrix} L_1 & L_2 \\ L_3 & L_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \\ x_3 & x_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{12} \\ x_{24} \\ x_{13} & x_{24} \end{pmatrix}$$

Bunda gorizontaal va vertikal tekshiriladigan belgilar quyidagi tarzda tuziladi:

$$\begin{pmatrix} x_{12} \\ x_{34} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \oplus x_2 \\ x_3 \oplus x_4 \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} x_{13} \\ x_{24} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \oplus x_3 \\ x_2 \oplus x_4 \end{pmatrix}$$

Uzatiladigan kodli kombinatsiya quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$F = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_{12}, x_{34}, x_{13}, x_{24}).$$

Dekodlashtirishning iteratsion usuli quyidagilarni o‘z ichiga oladi.

1. Birinchi bosqichda biz tekshiruvchi simvollarning gorizontaal nobog‘liqligini hisoblaymiz:

$$H = \begin{pmatrix} H_1 & H_2 \\ H_3 & H_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2 \oplus x_{12} & x_1 \oplus x_{12} \\ x_4 \oplus x_{34} & x_3 \oplus x_{34} \end{pmatrix}$$

Bu yerda \oplus operatsiya quyidagi tarzda aniqlanadi:

$$A \oplus B = (-) \cdot \text{sign}(A) \cdot \text{sign}(B) \cdot \min(|A|, |B|).$$

2. Ikkinchi bosqichda tekshiruvchi simvollarning vertikal nobog‘liqligini hisoblanadi:

$$V = \begin{pmatrix} V_1 & V_2 \\ V_3 & V_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (L_3 + H_3) \oplus x_{13} & (L_4 + H_4) \oplus x_{24} \\ (L_1 + H_1) \oplus x_{13} & (L_2 + H_2) \oplus x_{24} \end{pmatrix}$$

Birinchi iteratsiya natijasi quyidagi matritsa bo‘ladi:

$$X_1 = L + H + V$$

3. Uchinchi bosqichda yana tekshiruvchi simvollarning gorizontol nobog‘liqligini hisoblaymiz:

4.

$$H = \begin{pmatrix} (L_2 + V_2) \oplus x_{12} & (L_1 + V_1) \oplus x_{12} \\ (L_4 + V_4) \oplus x_{34} & (L_3 + V_3) \oplus x_{34} \end{pmatrix}$$

Qayd etamizki, V matritsa elementlarini biz oldingi 2 bosqichdan olamiz.

5. To‘rtinchi bosqichda tekshiruvchi simvollarning vertikal nobog‘liqligi hisoblanadi:

$$V = \begin{pmatrix} V_1 & V_2 \\ V_3 & V_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (L_3 + H_3) \oplus x_{13} & (L_4 + H_4) \oplus x_{24} \\ (L_1 + H_1) \oplus x_{13} & (L_2 + H_2) \oplus x_{24} \end{pmatrix}$$

Qayd etamizki, H matritsa elementlarini oldingi 3 bosqichdan olamiz. Ikkinchi iteratsiya natijasi quyidagi matritsa bo‘ladi:

$$X_2 = L + H + V$$

Boshqa barcha iteratsion algoritmlar kabi bizga davriylik so‘nggi iteratsiyalarda hisoblash natijalari qanchalik kuchli o‘zgarishini tekshirish uchun talab qilinadi. Agar $X^k \approx X^{k-1}$ hisoblash jarayoni to‘htatilsa $X = X^k$ bilan belgilanishi mumkin. Agar X^k miqdor X^{k-1} dan kuchli farqlansa, 3-4 bosqichlarni takrorlash zarur. Yakuniy bosqichda “Yengil” qarorlardan “Qat’iy” javoblarga o‘tish zarur. Bularning barchasi uchun manfiy komponentli matritsa:

$$X = \begin{pmatrix} X_1 & X_2 \\ X_3 & X_4 \end{pmatrix}$$

0 qabul qilinadigan signal miqdoriga mos bo‘lib, barcha ijobiylari-1 miqdor bo‘ladi:

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{2\text{sign}(x)} \text{ yoki } a = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 + \text{sign}(X_1) & 1 + \text{sign}(X_2) \\ 1 + \text{sign}(X_3) & 1 + \text{sign}(X_4) \end{pmatrix}$$

Misol. $a = (1011)$ xabarni kodlashtiring?

Yechish. $a = (x_1, x_2, x_3, x_4) = (1011)$ ekanligini hisobga olib matritsa shaklida X_k ketma-ketligini taqdim qilamiz:

$$L = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \\ x_3 & x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix},$$

Bunda gorizontaal va vertikal tekshiriladigan belgilar quyidagi tarzda tuziladi:

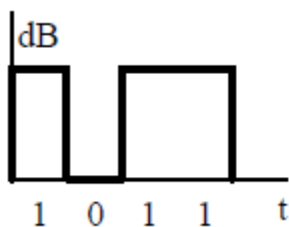
$$\begin{pmatrix} x_{12} \\ x_{34} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \oplus x_2 \\ x_3 \oplus x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \oplus 0 \\ 1 \oplus 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_{13} \\ x_{24} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \oplus x_3 \\ x_2 \oplus x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \oplus 1 \\ 0 \oplus 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

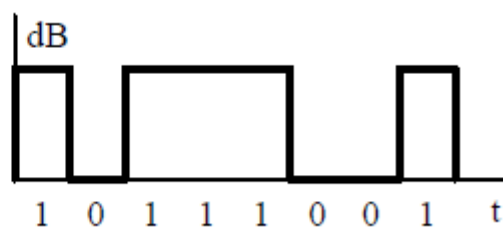
Uzatiladigan kodli kombinatsiya quyidagi shaklda bo‘ladi:

$$F = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_{12}, x_{34}, x_{13}, x_{24}) = (10111001)$$

Kodlashtirish jarayonini quyidagi tarzda ifodalaymiz (4.11-rasm):



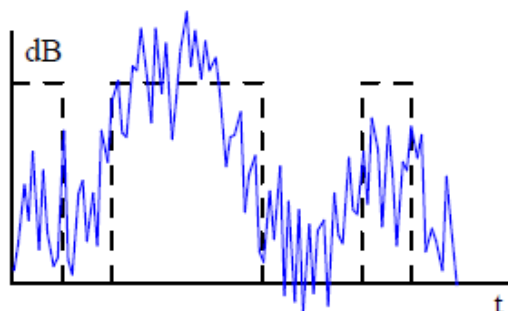
Axborot ketma-ketligi.



Kodli ketma-ketlik.

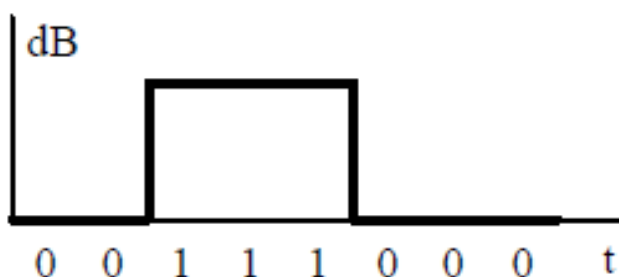
4.11-rasm. Kodlashtirish jarayoni

Axborotni uzatish jarayonida ketma-ketlik turli shovqinlar natijasida buzilishlari va elektromagnit to‘lqinlarning tabiiy tebranishlari natijasida yo‘qoladi. Qabul qilinadigan signal quyidagi ko‘rinishda bo‘lishi mumkin (4.12-rasm):



4.12-rasm. Qabul qilinadigan signal ko‘rinishi

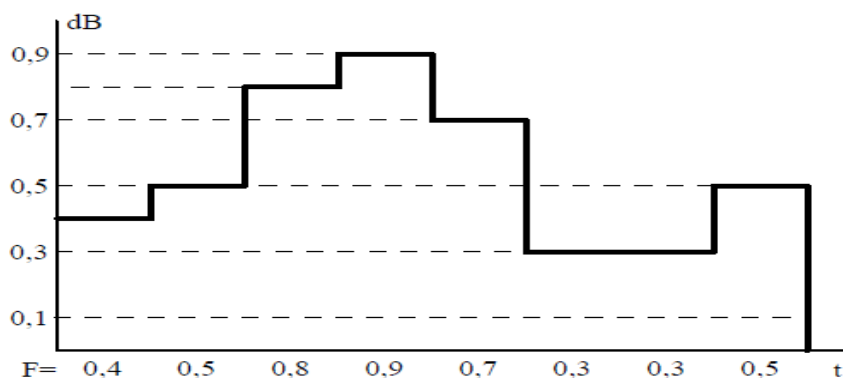
Agar qabul qiluvchi faqat elektromagnit maydonning kuchlanish belgisini qayd qilsa, raqamli approksimatsiya signal quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi (4.13-rasm):



4.13-rasm. Raqamli approksimatsiya signalning ko‘rinishi

Boshqacha aytganda biz $F=(00111000)$ ko‘rinishdagi kodli kombinatsiyani ikkita xatolik bilan oldik.

Endi “Yengil” **dekodlashtirish** algoritmini ko‘rib chiqamiz (4.14-rasm). Buning uchun 10 darajali kvant signallarni kiritamiz va uni quyidagicha yozamiz:



4.14-rasm. “Yengil” dekodlashtirish algoritmi

Rasmdan ko‘rinib turibdiki qabul qilingan kodli kombinatsiya quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$F = (0.4, 0.5, 0.8, 0.9, 0.7, 0.3, 0.3, 0.5).$$

Misol. Qabul qilingan kodli kombinatsiyani dekodlashtiring?

$$F = (0.4, 0.5, 0.8, 0.9, 0.7, 0.3, 0.3, 0.5).$$

Yechish. Qabul qilinadigan axborot ketma-ketligini ajratamiz:

$$F = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_{12}, x_{34}, x_{13}, x_{24}) = (0.4, 0.5, 0.8, 0.9, 0.7, 0.3, 0.3, 0.5).$$

axborot matritsasi

$$L = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \\ x_3 & x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.4 & 0.5 \\ 0.8 & 0.9 \end{pmatrix},$$

gorizontal (x_{12}, x_{34}) va vertikal (x_{13}, x_{24}) tekshiruvchi simvollar

$$\begin{pmatrix} x_{12} \\ x_{34} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.7 \\ 0.3 \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} x_{13} \\ x_{24} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.3 \\ 0.5 \end{pmatrix}$$

1. Birinchi bosqichda tekshiruvchi simvollarning gorizontal nobog‘liqligini hisoblaymiz:

$$H = \begin{pmatrix} (x_2 \oplus x_{12}) \oplus x_{12} & x_1 \oplus x_{12} \\ (x_4 \oplus x_{34}) \oplus x_{34} & x_3 \oplus x_{34} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.5 \oplus 0.7 & 0.4 \oplus 0.7 \\ 0.9 \oplus 0.3 & 0.8 \oplus 0.3 \end{pmatrix}.$$

$A \oplus B = (-1) \cdot \text{sign}(A) \cdot \text{sign}(B) \cdot \min(|A|, |B|)$ ni hisobga olgan holda quyidagilarni olamiz:

$$x_2 \oplus x_{12} = 0.5 \oplus 0.7 = (-1) \cdot \text{sign}(0.5) \cdot \text{sign}(0.7) \cdot \min(|0.5|, |0.7|) = -0.5,$$

$$x_1 \oplus x_{12} = 0.4 \oplus 0.7 = (-1) \cdot \text{sign}(0.4) \cdot \text{sign}(0.7) \cdot \min(|0.4|, |0.7|) = -0.4,$$

$$x_4 \oplus x_{34} = 0.9 \oplus 0.3 = (-1) \cdot \text{sign}(0.9) \cdot \text{sign}(0.3) \cdot \min(|0.9|, |0.3|) = -0.3,$$

$$x_3 \oplus x_{34} = 0.8 \oplus 0.3 = (-1) \cdot \text{sign}(0.8) \cdot \text{sign}(0.3) \cdot \min(|0.8|, |0.3|) = -0.3,$$

va

$$H = \begin{pmatrix} H_1 & H_2 \\ H_3 & H_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.5 & -0.4 \\ -0.3 & -0.3 \end{pmatrix}.$$

2. Ikkinchi bosqichda tekshiruvchi simvollarning vertikal nobog'liqligini hisoblaymiz:

$$V = \begin{pmatrix} (L_3 + H_3) \oplus x_{13} & (L_4 + H_4) \oplus x_{24} \\ (L_1 + H_1) \oplus x_{13} & (L_2 + H_2) \oplus x_{24} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (0.8 - 0.3) \oplus 0.3 & (0.9 - 0.3) \oplus 0.5 \\ (0.4 - 0.5) \oplus 0.3 & (0.5 - 0.4) \oplus 0.5 \end{pmatrix}.$$

yoki

$$V = \begin{pmatrix} V_1 & V_2 \\ V_3 & V_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.3 & -0.5 \\ 0.1 & -0.1 \end{pmatrix}$$

Birinchi iteratsiya natijasi quyidagi matritsa bo'ladi:

$$X_1 = L + H + V = \begin{pmatrix} 0.4 & 0.5 \\ 0.8 & 0.9 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -0.5 & -0.4 \\ -0.3 & -0.3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -0.3 & -0.5 \\ 0.1 & -0.1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.4 & -0.4 \\ 0.6 & 0.5 \end{pmatrix}$$

3. Uchinchi bosqichda biz tekshiruvchi simvollarning nobog'liqligini yana hisoblaymiz:

$$H = \begin{pmatrix} (L_2 + V_2) \oplus x_{12} & (L_1 + V_1) \oplus x_{12} \\ (L_4 + V_4) \oplus x_{34} & (L_3 + V_3) \oplus x_{34} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (0.5 - 0.5) \oplus 0.7 & (0.4 - 0.3) \oplus 0.7 \\ (0.9 - 0.1) \oplus 0.3 & (0.8 + 0.1) \oplus 0.3 \end{pmatrix}.$$

Qayd etamizki, V matritsa elementlarini oldingi ikki bosqichdan olamiz. Natijada quyidagi ko'rinish olinadi:

$$H = \begin{pmatrix} 0 \oplus 0.7 & 0.1 \oplus 0.7 \\ 0.8 \oplus 0.3 & 0.9 \oplus 0.3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -0.1 \\ -0.3 & -0.3 \end{pmatrix}.$$

4. To'rtinchi bosqichda V tekshiruvchi simvollar vertikal nobog'liqligini hisoblaymiz:

$$V = \begin{pmatrix} V_1 & V_2 \\ V_3 & V_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (L_3 + H_3) \oplus x_{13} & (L_4 + H_4) \oplus x_{24} \\ (L_1 + H_1) \oplus x_{13} & (L_2 + H_2) \oplus x_{24} \end{pmatrix}$$

H matritsa elementlarini oldingi 3 bosqichdan olamiz va quyidagi natija olinadi:

$$V = \begin{pmatrix} (0.8 - 0.3) \oplus 0.3 & (0.9 - 0.3) \oplus 0.5 \\ (0.4 + 0) \oplus 0.3 & (0.5 - 0.1) \oplus 0.5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.5 \oplus 0.3 & 0.6 \oplus 0.5 \\ 0.4 \oplus 0.3 & 0.4 \oplus 0.5 \end{pmatrix},$$

yoki

$$V = \begin{pmatrix} -0.3 & -0.5 \\ -0.3 & -0.4 \end{pmatrix}$$

Ikkinchi iteratsiya natijasi bo‘lgan matritsa quyidagi ko‘rinishga ega:

$$X_2 = L + H + V = \begin{pmatrix} 0.4 & 0.5 \\ 0.8 & 0.9 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -0.1 \\ -0.3 & -0.3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -0.3 & -0.5 \\ -0.3 & -0.4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.1 & -0.1 \\ 0.2 & 0.2 \end{pmatrix}$$

O‘quvchi 5 va 6 bosqichlarni hisoblashda qanday natijalarni olishini mustaqil ravishda ishlashi mumkin:

$$H = \begin{pmatrix} 0 & -0.1 \\ -0.3 & -0.3 \end{pmatrix}, \quad V = \begin{pmatrix} -0.3 & -0.5 \\ -0.3 & -0.4 \end{pmatrix}, \quad X_3 = \begin{pmatrix} 0.1 & -0.1 \\ 0.2 & 0.2 \end{pmatrix}$$

Modomiki $X = X^2 = X^3$ bo‘lsa, kelgusi iteratsiyalarni biz to‘htatamiz. Oxirgi bosqichda “Yengil” yechimlardan “Qat’iy” javoblarga o‘tamiz. X matritsa barcha manfiy komponentlari uchun qabul qilinadigan signal - 0, barcha ijobiyalar uchun -1 miqdor bo‘ladi:

$$a = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 + \text{sign}(X_1) & 1 + \text{sign}(X_2) \\ 1 + \text{sign}(X_3) & 1 + \text{sign}(X_4) \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 + \text{sign}(0.1) & 1 + \text{sign}(-0.1) \\ 1 + \text{sign}(0.2) & 1 + \text{sign}(0.2) \end{pmatrix}$$

yoki

$$a = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 + 1 & 1 + 1 \\ 1 + 1 & 1 + 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 2 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Shunday qilib qayta kodlashtirilgan axborot ketma-ketligi quyidagi shaklda bo‘ladi:

$$a = (1011).$$

Ishlarda ko‘rsatilishicha, “Yengil” yechimli qarordan foydalanish signal 8-16 darajalarda kvantlanganda optimal hisoblanadi.

Maksimum ishonchlilik asosida kodni ochish kodlash nazariyasida birmuncha muhim va murakkab algoritmik muammo hisoblanadi. Ma'lumki, aloqaning ikkilamchi simmetrik kanali va erkin chiziqli kodlar uchun bu muammo NP-to'liq hisoblanadi. Bundan tashqari, u kodning uzoq qayta ishlanish vaqtida ham shundayligicha qoladi.

Binobarin, mazkur masalani hal etish uchun bugungi kunda ko'plab umumiy nazariyalar o'rganilgan va ishlab chiqilgan. Bu barcha algoritmlar kod uzunligiga eksponensial ravishda qotib qolish kabi murakkabliklarga ega. Bundan tashqari ular o'rtacha uzunlikdagi (blokda 200 belgigacha) kodlarni bog'lashda oddiy qo'llanilishi bilan yaroqli hisoblanadi.

Ular jumlasiga, masalan, axborot jamlanmalari deb nomlanuvchi kod ochish algoritmlari kiradi. Masalani hal etuvchi boshqa bir misol, Levitin va Xartman tomonidan taklif etilgan "nol qo'shnisi" (ingl. zeroneighbors) algoritmi nomini olgan ML-kod ochish hisoblanadi. Ta'kidlangan oilalarga mansub ML-kod ochish algoritmi o'rganilgan ishda minimal so'zlar uslubi hisoblanadi.

Nazorat savollari:

1. Turbo-kodga tushuncha bering?
2. Turbo kodning komponentalari sifatida qanday kodlar ishlatiladi?
3. Turbo – kodning tuzilishi qanday?
4. Turbo-kodlarda navbat qanday amalga oshiriladi?
5. Turbo koderning chiqishidagi kodning tezligi qaysi formula orvali aniqlanadi?
6. Turbo-kodning afzalliklari nimada?
7. Turbo-kodning kamchiliklari nimada?
8. Yengil yechimli dekodlashga tushuncha bering?

4.3. Shovqinbardosh kodlarni telekommunikatsiyada qo'llanishi

Kodlarning texnologiyalarda qo'llanilishi. Bu kodlar axborot saqlanishining yuqori ishonchliligini ta'minlash imkonini beradigan lazer va magnit disklardagi to'plagichlarda, xotira qurilmalaridagi yarim o'tkazgichlardagi xatolarni bartaraf etish uchun qo'llaniladi. Masalan:

- ATM texnologiyasida BChX kodlari;

- ARSO 25 standartidagi raqamli tranking aloqalarida Xemming kodi, Rid-Solomon va Goley kodlari;
- GSM harakatlanuvchi aloqa radiokanallarida aniqlilikni nazorat qilish davriy kodlari, blokli va o‘rama kodlar;
- Raqamli televideniya axborotlarni magnit disklarga yozish jarayonida Rid-Solomon kodlari qo‘llaniladi.

ATM tizimlarida sarlavhadagi xatolarni aniqlash va bartaraf etish. ATM tizimlarida sarlavhadagi xatolarni aniqlash va bartaraf etish uchun BChX davriy kodlaridan samarali foydalaniladi. BChX kodlaridan tashqari shuningdek, aloqa kanallaridagi xatolarning turlariga ko‘ra, hamda to‘yinganlik darajasiga bog‘liq holda turli kombinatsiyadagi xatolarni bartaraf eta oladigan boshqa kodlar ham qo‘llaniladi. Xatoning turi axborot yetkazish usuli va kanalning fizik hususiyatiga ko‘p tomonlama bog‘liq bo‘ladi.

ATM texnologiyalarida xatolar oqibatida asosan “ko‘payish effekti” deb ataluvchi xatolarni yo‘qotish jarayoni yuzaga keladi. Bu effektda sarlavhadagi xatolar oqibatida axborot paketi boshqa bir qabul qiluvchiga yetib borishi mumkin. ATM yacheykasi sarlavhasini himoya qilish uchun BChX kodlarini qo‘llash eng samarali hisoblanadi. Bu kodlar n , k , t belgilarini cheklangan miqdorda bosish orqali xatolarni bartaraf etishdagi keng ko‘lamdagi imkoniyatlariga ega.

ATM yacheykasi. ATM yacheykasida sarlavha 5 oktetni tashkil qiladi. Xatolar nazorati maydoniga 8 bit ajratilgan. Bu 89% ko‘p bitli xatolarni aniqlash va ularni bartaraf etish uchun yetarli hisoblanadi. ATM yacheykalarining har bir o‘tkazuvchisi sarlavhaning birinchi to‘rtta oktetini uchun sarlavhadagi xatolar nazorati maydoni belgilarini hisoblaydi va natijani beshinchi oktet (sarlavhadagi xatolar nazorati maydoni)ga o‘tkazadi. Maydon belgisi (mod 2 bo‘yicha) x^8 ko‘paytuvchisining yacheyka sarlavhasi tarkibi (sarlavha nazorati maydonisiz) x^8+x^2+x+1 ga taqsimoti qoldig‘i sifatida aniqlanadi. O‘tkazuvchi qurilmasi bu qoldiqni hisoblaydi va unga mod 2 bo‘yicha 01010101 belgilangan kombinatsiyani qo‘shadi. Xuddi shu yig‘indi sarlavha xatolar nazorati maydoniga yoziladi. Yuqorida ko‘rsatilgan barcha jarayonlar adaptiv mexanizm yordamida ATM yacheykalar qurilmasi tomonidan amalga oshiriladi.

Ishga tushirilgandan so‘ng qabul qilgich to‘g‘irlash rejimida turadi. Agar bir bitli xato aniqlansa, u holda yacheyka o‘chiriladi. Ikkala holatda ham qabul qilgich detektirlash rejimiga o‘tadi. Qabul qilgichning bunday holatida sarlavhadagi yakka yoki ko‘p xatolar aniqlangan har bir yacheyka

o‘chiriladi. Agar sarlavhada xatolar topilmasa, u holda mexanizm to‘g‘irlash holatiga o‘tadi.

Tranking aloqada kodlash usullari. APCO 25 standarti raqamli tranking aloqada kodlashning asosiy usullari quyidagilar hisoblanadi:

- blokli kodlash;
- panjarali kodlash;
- ketma-ketlik.

Axborotni blokli kodlashda tahrirlovchi kodlarning quyidagi turlari qo‘llaniladi:

- Xemming kodlari;
- Rid-Solomon kodlari;
- Goley kodlari;
- Anqlikni nazorat qiluvchi davriy kodlar (CRC-kodlar).

Xemming kodlari nutqli xabarlarni kodlashda qo‘llaniladi (nutqli kadrlar, shifrlashning sinxron so‘zlari, aloqa kanalini boshqaruv nutqlari).

Rid-Solomon va Goley kodlari esa xabar muqaddimasi uchun qo‘llaniladi.

CRC kodlar esa asosan ma’lumotlarni kodlash uchun qo‘llaniladi va polinom ko‘rinishida tasvirlangan chiquvchi axborot blokini kelib chiqadigan polinomga taqsimlash, mod 2 bo‘yicha aniq bir inversli polinomga ko‘paytirish natijasini ayirish yo‘li bilan shakllanadi.

Masalan, axborot nutqlarini kodlash uchun Rid-Solomon kodlarining (36, 20, 17), (24, 16, 9) va (24, 12, 13) parametrli 3 turi qo‘llaniladi. Ularning barchasi qisqartirilgan hisoblanadi va 63 yo‘l uzunlikdagi koddan ko‘proq axborotli belgilarni ayirishdan hosil bo‘ladi.

ARSO 25 dagi blokli kodlash tizimli hisoblanadi, ya’ni, kodli so‘zning birinchi k belgisi axborot belgisining takrorlanishini aks ettiradi, oxirgi ($n - k$) belgilar tekshiruvchi hisoblanadi.

ARSO 25 standartida Goley kodlarining 3 turi qo‘llaniladi:

- Goleyning (23, 12, 7) parametrli standart kodlari;
- (24, 12, 8) kengaytirilgan;
- (18, 6, 8) qisqartirilgan.

Goleyning standart kodi o‘sib boruvchi polinom bilan generatsiyalanadi:

$$G(x)=x^{11}+x^{10}+x^6+x^5+x^4+x^3+x^2+1,$$

bunda, sakkizlik ko‘rinishidagi qaydda 6165 soni bilan aks ettirish mumkin.

Kodlarning GSM radiokanallarida qo'llanilishi. Goleyning kengaytirilgan kodi (24, 12, 8) aniqlik nazoratining bir standart bitiga qo'shish orqali hosil bo'ladi. Goleyning qisqartirilgan kodi (18, 6, 8) kengaytirilgan koddan eng katta chap olti bitni ayirish natijasida hosil bo'ladi.

Harakatlanuvchi aloqali GSM radiokanallarida o'rama va blokli kodlar ketma-ketlikda qo'llaniladi. Ketma-ketlikda qo'llash shakllangan xatolar paketini yakka xatolarga aylanishini ta'minlaydi. O'rama kodlar yakka xatolar bilan kurashishning kuchli vositasi hisoblanadi, blokli kodlar esa tahrirlanmagan xatolarni aniqlash uchun qo'llaniladi.

Blokli kod (n, k, t) k axborot belgilarini $(n-k)$ aniqlik belgilarini qo'shish, shuningdek, t xatolik belgilarini tahrirlash yo'li bilan shakllantiradi.

O'Kning asosiy xususiyatlaridan biri k birligi hisoblanib, bu birlik kodli cheklanishning uzunligi bilan ataladi va mazkur axborot belgisi chiquvchi belgilarning qanday maksimal soniga ta'sir qilishini ko'rsatadi. Amalga oshirish nuqtai nazaridan, Viterbi algoritmiga nisbatan O'Klarni ochish murakkabligi eksponensial ravishda kodli cheklash uzunligining oshishi bilan o'sib boradi, bunda k belgilari kichik bo'ladi va 3^{-10} intervalida yotadi.

O'Kning kamchiligi shundaki, ular xatolarni aniqlay olmaydi. Shu sababli GSM standartida xatolarni tashqi aniqlash uchun $(2, 1, 5)$ o'rama kod asosidagi blokli kod qo'llaniladi. Faqatgina kanalda yakka (tasodifiy) xatolar mavjud bo'lgan holatda O'K yaxshiroq natijani ta'minlaydi. GSMda uchraydigan qotib qoluvchi kanallarda O'Kni ketma-ketlik bilan birgalikda qo'llash lozim.

GSM standartli harakatlanuvchi aloqada quyidagi halaqitga qarshi kodlar ishlatiladi:

- davriy kod (53, 50), $d_0 = 3$ kodli masofa bilan;
- o'rama kod (2, 1);
- ketma-ketlik (nutqli rejimda).
- Fayra kodi $(x^{23} + 1)(x^{17} + x^9 + 1)$, $k = 184$; $r = 40$;

Birinchi uchta kod 10^{-3} ketma-ketlikdagi xatolarni topolmasligi mumkin.

CDMA tizimlarida ishlatiladigan kodlar. CDMA tizimlarida quyidagi kodlar ishlatiladi:

- O'rama kod;
- Kaskadli kodlash;
- Rid – Solomon kodi \rightarrow ketma-ketlik \rightarrow o'rama kod;

- Turbo-kodlash;
- Maxsus kodlash.

O‘Klar nutqni kodlashda ishlatiladi. Ikkinchi va uchinchi kodlar ma’lumotlarni kodlashda, to‘rtinchi va beshinchi kodlar ma’lumotlarni uzatishda qo‘llaniladi.

Nutqni kodlash bir nechta o‘ziga xos hususiyatlarga ega: aniq vaqt rejimida interaktiv aloqani ta’minlash zarur, bunda axborotni qayta ishlash bilan bog‘liq bo‘lgan kechikish me’yordan oshmasligi lozim.

Buning uchun birinchi bosqichda xatolar paketini qayta tahrirlash amalga oshiriladi, natijada, ular yakka xatolarga aylanadi.

Ikkinchi bosqichda signal xatolar bilan kurashishning odatiy usullari yordamida qayta ishlanadi, bu esa ularning to‘liq o‘chirilishiga olib keladi.

Xatolar paketidagi qotib qolishlar va ularning kelib chiqish sabablari bilan kurashish. Xatolar paketidagi qotib qolishlar va ularning kelib chiqish sabablari bilan kurashish uchun ketma-ketlik jarayoni amalga oshiriladi, bunda belgilar o‘rin almashinuvi uning kodlanish ketma-ketligi bo‘yicha qo‘yiladi va chiqish ketma-ketligi bo‘yicha tiklanadi. Mazkur jarayon impulslar ketma-ketligini o‘zgartirib, ularning oshib ketishiga yo‘l qo‘ymaydi. Ketma-ketlik chuqurligi, ya’ni, ketma-ket kirib kelayotgan qo‘shni belgilarning oraliq masofasi qanchalik katta bo‘lsa, kechikish ham shuncha katta bo‘ladi.

Sputnik raqamli radioaloqada ishlatiladigan (63, 44) BChX kodi 63 belgidan iborat har bir kodli blokda 5 yoki 4 ta xatoni aniqlash va yashirish, ikki yoki uch xatoni to‘g‘irlashi mumkin.

Hisoblash tizimlarining samaradorligining oshishi saqlanadigan va uzatiladigan axborotlar hajmini sezilarli darajada oshiradi. Xatolarga yo‘l qo‘yilmasligining zarurligi, shuningdek axborotlarining o‘zi ham uskunalardan foydalanish, shuningdek, xatolarni aniqlash va to‘g‘irlash dasturlaridan foydalanishni talab qiladi.

Kompakt disklarda xatolarning paydo bo‘lishi. Kompakt disklar va magnit lentalaridagi raqamli yozuvlar va ma’lumotlar tizimida xatolarning asosiy qismini “paket lotoreyasi” turidagi xatolar tashkil etadi. Yozuv va ma’lumotlar sifatiga xatolar paketining ta’sirini kamaytirish uchun mazkur xatolar bilan kurashishning samarali vositasi hisoblangan halaqitga qarshi kaskadli kodlashdan foydalaniladi. Eng noqulay holatlarda ham xatolarni aniqlash va ularni to‘g‘irlash uchun kodlar katta zaxira bilan tanlanadi. Bundan tashqari raqamli magnitofonlarda yoziladigan oqim blokli tarkibga ega bo‘ladi. Yozib olishning bunday shakli blokli tarkibda halaqitga qarshi kodlarni qo‘llashni talab qiladi.

Harakatlanuvchi tashuvchilarga yozish va o‘qish tizimida o‘qish jarayonidagi xatolar tashuvchidagi yo‘qotishlar va boshqa jarohatlarda aks etadi, yarimo‘tkazgich xotirali tashuvchilarda qotib qolishlar va uzilishlar yuzaga keladi.

Ma’lumotni o‘qish yozuvlari tizimida kanal rolini axborot tashuvchi bajaradi: magnit lenta, disk, gramplastinka, yarimo‘tkazgichli xotirada saqlovchi qurilmalar va b.

Nazorat savollari:

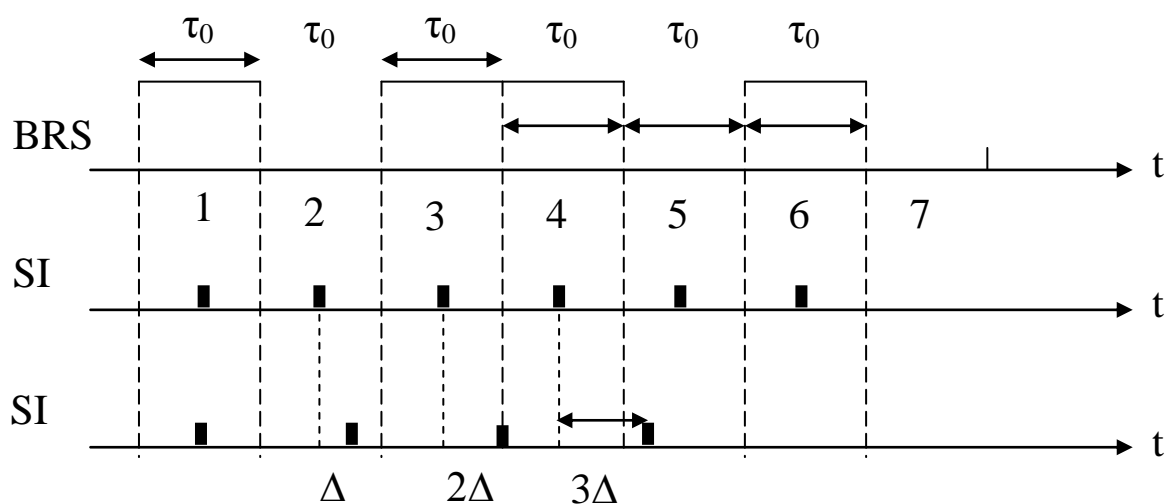
1. Kodlarning texnologiyalarda qo‘llanilishiga tushuncha bering?
2. Tranking aloqada kodlash usullariga tushuncha bering?
3. Kodlarning GSM radiokanallarida qo‘llanilishiga tushuncha bering?
4. GSM standartli harakatlanuvchi aloqada qanday halaqitga qarshi kodlar ishlatiladi?
5. CDMA tizimlarida qanday kodlar ishlatiladi?
6. Kompakt disklarda xatolar qanday paydo bo‘ladi?

4.4. Zamonaviy shovqinbardosh kodeklarda sinxronizatsiya

Ma’lumotlar uzatishda sinxronizatsiya. Sinxronizatsiya - bu bir yoki bir nechta jarayonlar orasini vaqt orqali belgilab olish va shu vaqt oralig‘ini bir maromda ushlab turish jarayoni tushuniladi.

Raqamli ma’lumotlar sinxronizatsiyasi – bu ma’lumotning raqamli signal birlik elementlari oralig‘ida fazoviy moslashish va bir maromda ushlab turish (belgilangan vaqt oraliqlarida) tushuniladi.

Diskret tizimlari analog tizimlaridan farqli o‘laroq diskret uzatuvchi va diskret qabul qiluvchi qurilmalar o‘zaro bir maromda ishlashi shart. DMUTda ma’lumotning raqamli signallari belgilangan vaqt oralig‘ida davom etuvchi birlik elementlaridan tashkil topgan. Qabul qilish qismida aynan o‘sha belgilangan vaqt davomiyligi orqali impulslar ajratiladi va bunda so‘rov impulslar yoki sinxron impulslardan foydalaniladi. Diskret ma’lumotlarni uzatish (DMU)da berilgan raqamli signal (BRS) o‘zini aniq uzunlikdagi birlik elementlari ketma – ketligini namoyish qiladi (4.15-rasm).



4.15 – rasm. Elementli sinxronizatsiya jarayonini tushuntiruvchi vaqt diagrammasi

4.15-rasmdan ko‘rinib turibdiki uzatishdagi va qabul qilishdagi sinxro impulslar (SI) vaqt oraliqlarining farq qilishi natijasida uzatilgan raqamli signal qabul qilish qismida xatolik bilan qabul qilinadi. Shuning uchun ham so‘rov impulslari qabul qilinayotgan birlik elementlar bilan aniq fazoviy moslikda bo‘lishi shart. Belgilash (strobirlash) usuli yordamida ro‘yhatga olish jarayoni so‘rov impulsi birlik elementlarning markaziga to‘g‘ri kelishi shart. Ro‘yhatga olish vaqtida xatolikga yo‘l qo‘ymaslik uchun raqamli signal birlik impulsi ketma-ketliklari orasidagi vaqt davomiyliklarini doimo bir xil saqlash kerak.

BRS da τ_0 uzunligini shakllantirishda uzatish generatori, SI ketma – ketligini esa – qabul qilish generatori orqali amalga oshirilishi tufayli, tabiiy holda generator chastotalari nosozligi uzatish va qabul qilish taktli intervallarini uzunliklari tengligini ta’minlay olmaydi.

Uzatishda tayanch generatori chastotasi nominal – f_n ga teng bo‘lsin. Takt generatori chastotasi qabul qilishda, nosozlik tufayli nominal f_n qiymatidan Δf kattaligi sari intilishi mumkin.

Unda nosozlik koeffitsienti quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$k = \frac{\Delta f}{f_n}.$$

Generator tebranishini bir davrga surilish vaqti quyidagicha:

$$t_1 = \frac{1}{\Delta f} = \frac{1}{k \cdot f_n}$$

Qabul qilgichda takt intervalining chastotasi odatda V modulyatsiyasini tezligi bilan bir xil olinadi. Bu holda:

$$t_1 = \frac{1}{k \cdot B}$$

Qabul qilish generatori va uzatish generatori f_n chastotasidan turli tomon og'ishi mumkin bo'lgan chastotaga ega bo'lishi mumkinligini hisobga olgan holda, quyidagi tenglikni keltirishimiz mumkin:

$$t_1 = \frac{1}{2k \cdot B}$$

$\varepsilon_{qo'shimcha}$ - faza surilishining mumkin bo'lgan qiymati, deb belgilasak unda faza berilgan qiymat oshish vaqti qo'yidagicha bo'ladi:

$$t_{qo'shimcha} = \frac{\varepsilon_{qo'shimcha}}{2k \cdot B}$$

agar uni foizlarda elementli impuls uzunligida ko'rsatsak unda:

$$t_{qo'shimcha} = \frac{\varepsilon_{qo'shimcha}}{200k \cdot B}$$

turli B lar uchun shu formuladan olingan $t_{qo'shimcha}$ lar, sinxronizmni quvvatlab turuvchi maxsus omil kerakligini ko'rsatib o'tadi.

Shunday qilib, agar mahsus omillar qo'llanilmasa, sinxrosignal va BRS orasida fazoviy kelishmovchilik yig'iladi, u esa o'z o'rnida birlik elementlarini to'g'ri ro'yhatdan o'tishini taqiqlab qo'yadi.

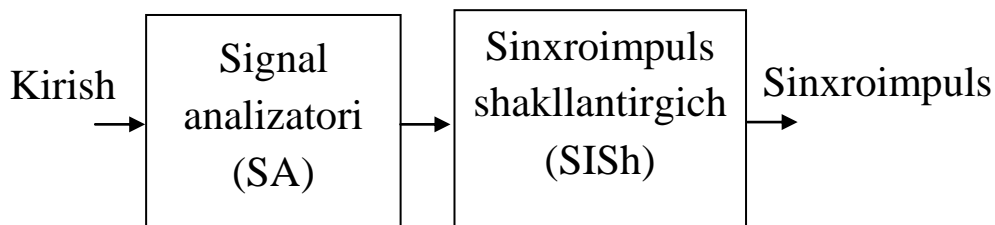
Rasmda keltirilganidek yig'ilib ketgan kelishmovchilik - to'rtinchi element BRSni umuman ro'yhatga olinmaganligi ko'rinib turadi.

DMU sinxronizatsiya qurilmasi (SQ) orqali amalga oshiriladi. Har bir kod kombinatsiyasining elementi haqida qaror qabul qilinganda, axborotli simvol (xarf, belgi) haqida qaror qabul qilinadi. Shu holda qabul qilgichda sinxro signallar mavjud bo'lishi kerak, ular kodli kombinatsiyani boshlanishi va tugallanishini belgilaydilar. BRSning sinxronizatsiyasi quyidagilarga bo'linadi:

- elementli sinxronizatsiya;
- guruhli sinxronizatsiya;

– siklli sinxronizatsiya.

Elementli sinxronizatsiya. Qabul qilgichni to‘g‘ri ishlashini elementli sinxronizatsiya qurilmasi (ESQ) ta‘minlab beradi. Sinxronizatsiya qurilmasi umumiy ko‘rinishi o‘z ichiga signal analizatori (SA) va SI shakllantirgich (SISh)larni oladi (4.16-rasm).



4.16-rasm. Sinxronizatsiya qurilmasining umumiy ko‘rinish sxemasi

SA – kirishdagi ma‘lumotlar signali tuzatilish qiymat momentlari joylashishini ko‘rsatish uchun xizmat qiladi.

SISh - SA qiymat momentlaridan tushayotgan signallar harakati ostida, kirishga tushadigan signallar aniq fazadagi SI shakllantiradi.

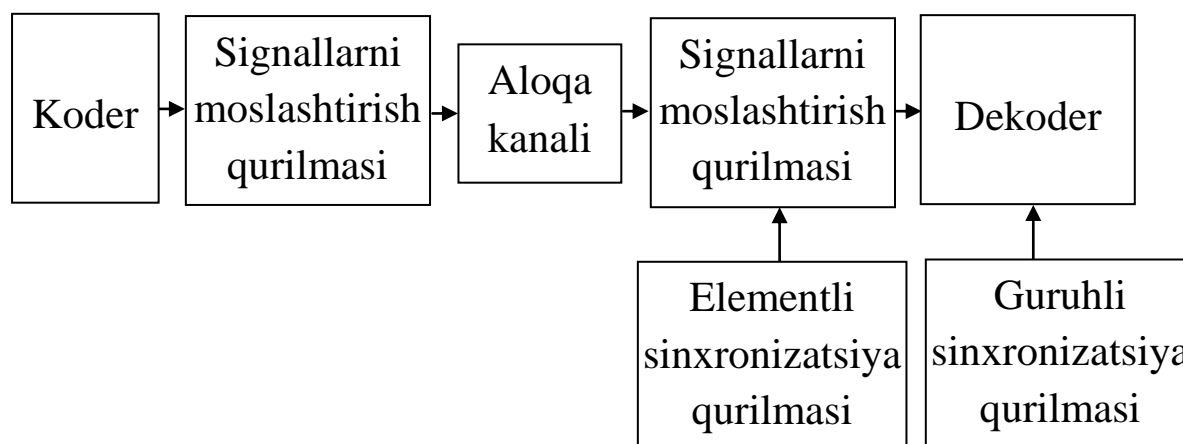
Diskret aloqa tizimida sinxronizatsiya qurilmalariga quyidagi talablar qo‘yiladi:

- qabul qilgichning ilk bor yoqilishida sinxronizatsiyaga kirish vaqti kam bo‘lishi;
- qabul qilgichda impulslar katta buzilishlar bo‘lsa ham, ishlashida kichkina xatolik bo‘lishi;
- qisqa vaqtli aloqa uzilishlarda ish jarayoni bardoshlilik;
- uzatilayotgan tekst tuzilishidan qat‘iy nazar, ish jarayoniga bardoshlilik.

Elementli sinxronizatsiya uzatayotgan va qabul qilayotgan diskret ma‘lumotlarni shunday sinxronizatsiyalash jarayoniki, bunda raqamli signallarning birlik elementlari muhim vaqtlar orasida fazoviy moslashishni tashkil qilib turishi kerak. Oddiy qilib aytganda signalning har bir birlik elementlarining muhim vaqtlarida talab qilingan fazoviy moslashishni tashkil qilishdir.

Guruhli sinxronizatsiya usulida birlik elementlar uzatish vaqtida birlashtirilib kodli kombinatsiyalarni tashkil qiladi va kodli kombinatsiyalarni bir-biridan ajratish maqsadida ular orasiga sinxro signallar joylashtiriladi. Hatto, barcha birlik elementlar to‘g‘ri qabul qilinganda ham kodli kombinatsiyalarning boshi va oxiri xato aniqlanishi natijasida simvollarni xato qabul qilinishiga olib keladi yoki qaysidir axborotni xatolik bilan qabul qilinishiga sabab bo‘ladi. Shu sababdan

aksariyat hollarda ikkala usul birgalikda qoʻllaniladi. DMUTlarida elementli va guruhli sinxronizatsiya qurilmalari qoʻllanilgan sxemasi 4.17-rasmda keltirilgan.



4.17-rasm. DMUTlarida sinxronizatsiya qurilmalarining qoʻllanilish sxemasi

Sinxronizatsiyalash qurilmalariga quyiladigan talablar quyidagilardan iborat:

1. Sinxronizatsiyada yuqori aniqlik. Ideal sinxronizatsiya momentlariga nisbatan sinxrosignal chegaralarining ogʻish darajasi;
2. Ishga tushgan zahoti va qisqa toʻhtashlardan soʻng sinxronizatsiyaga darhol tayyor boʻlishi;
3. Toʻsqinlar va qisqa uzilish hollarida sinxronizatsiyani saqlab qolish;
4. Sinxronizatsiya aniqligiga uzatilayotgan axborotning statistik strukturaga taʼsir qilmasligi;
5. Maʼlumotga sinxronizatsiya axborotini kiritish natijasida aloqa kanali oʻtkazuvchanlik qobiliyatining kamayishini iloji boricha minimallashtirish;
6. Soddalik va ishonchlilik.

Sikli sinxronizatsiya (SS). Bu guruhli sinxronizatsiyaning oʻzginasi. Faqat farqi shundaki, guruhdagi birlik elementlar bitta maʼlumotga (bitta yoʻnalishdagi) tegishlidir. Sikl esa turli yoʻnalishdan kelgan turli maʼlumotlarni birlik elementlarning vaqt boʻyicha tartibli joylashishi natijasida hosil qilinadi. Demak bu usulda sinxroimpulslar orqali sikllar bir - biridan ajratiladi.

SS qurilmalariga qoʻyiladigan talablar quyidagilardan iborat:

1. SSning talab qilinadigan aniqligini taʼminlash;

2. Birinchi ulanishida hamda qisqa vaqtli tanaffuslardan so'ng sinxronizmga kirish vaqti kichik bo'lishi lozim;

3. Sinxronizmga kiruvchi avtomatlar va aloqa vaqtida sinxronlash davom etilishini ta'minlash;

4. Axborotga sinxronlanuvchi ma'lumotlarni kiritish hisobiga aloqa kanalining o'tkazish qobiliyatini eng kam yo'qotishlari (talofatlari);

5. SS qurilmasining soddaligi va ishlash puxtaligi.

SSning uzatish tizimlari ikkita turdan iborat:

1. Sinxron (boshlanishi va uzunligi aniqlangan);

2. Asinxron (boshlanishi fiksirlangan, blok uzunligi aniqlangan).

SSning qurilmasining o'ziga xos xususiyatlari quyidagilardan tashkil topgan:

1. Sikl bo'yicha sinxronizm mezonlari, ya'ni axborot elementlarida kodli kombinatsiyaning boshlanish va tugash momentlari bo'lmaydi.

2. Fazalashning mahsus signalini diskret kanaliga shakllantirish va uzatish zaruriyati tuzilmasi SS mezonlarini qabul qilishga xizmat qilishi mumkin.

3. SS jarayoni faqat SS buzilish vaqtida amalga oshiriladi.

4. Faza bo'yicha maksimal farqi $\varepsilon_{max} = (n-1) \tau_0$ ifodani tashkil etadi, bu yerda τ_0 – birlik elementining davomiyligi, modulyatsiya tezligiga bog'liqligi, n - blok uzunligi.

SS qurilmasi quyidagi belgi bo'yicha tasniflanadi:

– fazali kombinatsiyani uzatish usuli bo'yicha;

– ortiqchalikga, uzatkich tomonidan kiritilishiga bog'liqligi bo'yicha;

– uzatkich va qabul qilgichning ishlash rejimiga bog'liqligi bo'yicha;

– qabulda SSni ajratib olish usuli bo'yicha;

– xalaqit bo'yicha himoyalanganlik bosqichi bo'yicha;

– jarayonlarni avtomatlashtirish bosqichi bo'yicha.

1. Fazali kombinatsiyani uzatish usuli bo'yicha ikki turdan iborat:

a) maxsus ajratilgan kanal fazali kombinatsiyani uzatish bilan SS qurilmasi;

b) axborot uzatiladigan kanal bo'yicha fazali kombinatsiyani uzatish bilan SS qurilmasi.

2. Ortiqchalikga, uzatgich tomonidan kiritilishiga bog'liqligi bo'yicha ikki turdan iborat:

a) doimiy ortiqchalik bilan SS qurilmasi. Bunda fazali kombinatsiya tizimning butun ishlash vaqti davomida doimo uzatiladi;

b) o'zgaruvchan ortiqchalik bilan SS qurilmasi. Bunda fazali kombinatsiya SS uchun kerak bo'lgan vaqt kesimida vaqti-vaqti bilan uzatiladi.

3. Uzatkich va qabul qilgichning ishlash rejimiga bog'liqligi bo'yicha uch turdan iborat:

a) uzatkich va qabul qilgichning (sinxron tizimlar) uzluksiz ishlash bilan SS qurilmasi;

b) uzatkich va qabul qilgichni bir marta ishga tushirish (start-stop) bilan SS qurilmasi.

c) farqlarning yo'nalishi va kattaligini aniqlash bilan siklli sinxronizatsiya qurilmasi.

4. Xalaqit bo'yicha himoyalanganlik bosqichi bo'yicha ikki turdan iborat:

a) fazali kombinatsiya elementlarining aloqa kanalidagi xatolardan himoya qilinmagan sK qurilmasi;

b) fazali kombinatsiya elementlarining aloqa kanalidagi xatolardan himoya qilingan SS qurilmasi.

5. Jarayonlarni avtomatlashtirish bosqichi bo'yicha uch turdan iborat:

a) qo'lda ishga tushirish bilan SS qurilmasi;

b) yarim avtomatlashgan holda ishga tushirish bilan SS qurilmasi;

c) avtomatik tarzda ishga tushirish bilan siklli SS qurilmasi.

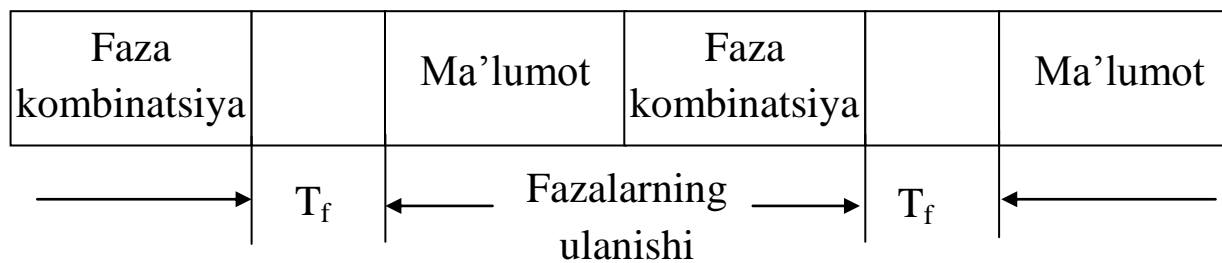
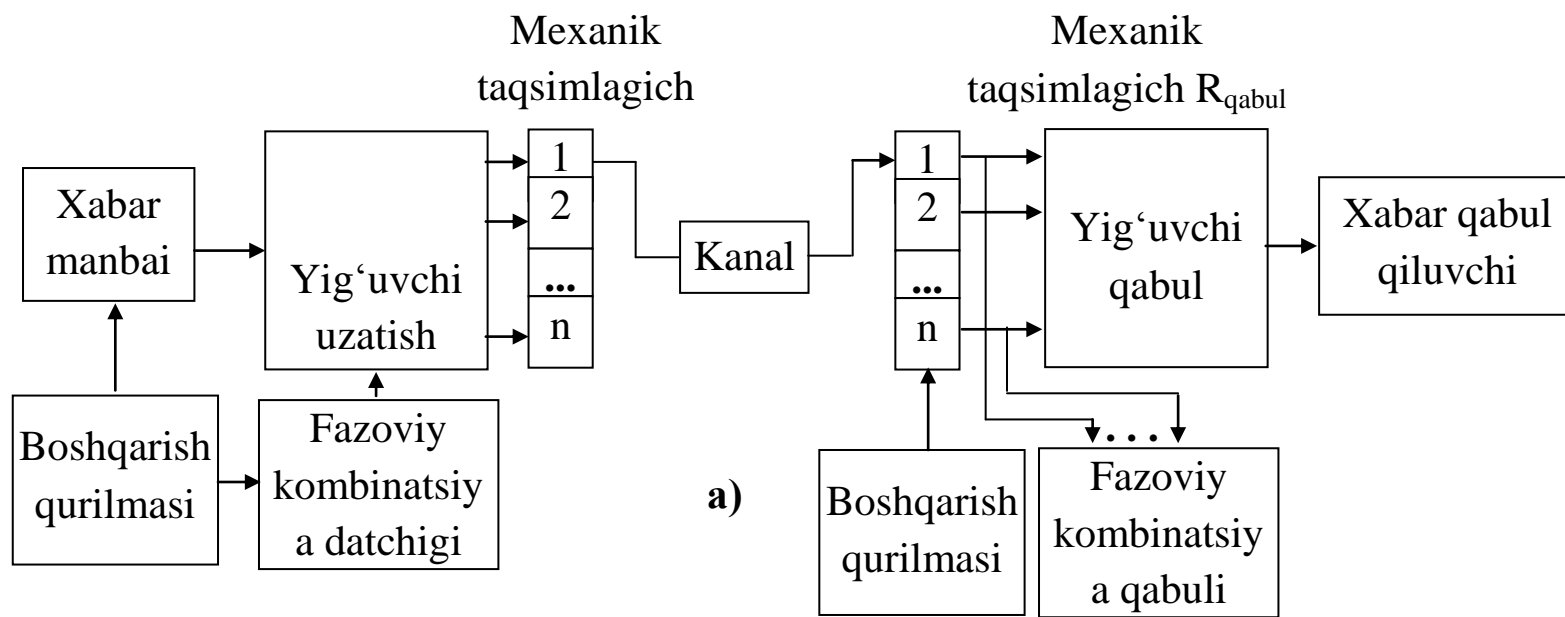
Barcha SS qurilmalari ikki turga bo'linadi:

– markersiz;

– markerli

SSning markersiz usuli. Markersiz usulni 4.18-rasmdan foydalangan holda tavsiflash mumkin, ushbu rasmda n elementlarga P taqsimlagichlarga ega sinxron tizim keltirilgan.

Fazali kombinatsiyaning elementlari qabul qilishda fazali kombinatsiya deshifratoriga kelib tushadi, o'z navbatida u ushbu kombinatsiyaga ta'sir etadi. Agar taqsimlagich fazada bo'lmasa, ro'yhatga olinadigan kombinatsiya fazalidan farqlanadi va deshifrator ishga tushadi. Har bir sikl oxirida fazali kombinatsiya deshifratorining ishga tushmasligi siklli fazadagi farqni ko'rsatadi. Bunda boshqaruvchi sxemadan impuls uzatiladi, ushbu impuls qabuldagi taqsimlagich fazasini siljitadi. Har bir siklning oxirida qabul qilishdagi taqsimlagichning bunday siljishi to'g'ri faza o'rnatilmagunga qadar davom etadi.



4.18-rasm. Siklli sinxronizatsiyaning markersiz usuli

SSning markersiz usulidan faqat uzatishning sinxronli usulidan foydalanish mumkin. Bunda qabul qilgich taqsimlagichini sozlash odatda, birlik elementining davomiyligiga teng kattalikda amalga oshiriladi.

SS ushbu usulda qabul qilinadigan kodli kombinatsiya uzunligi oldindan ma'lum bo'lganligi sababli ta'minlanadi, kodli kombinatsiyaning boshlanish va tugash momentlari axborot uzatishning barcha seanslarida sinxronizm kiritilgandan keyin aniqlanadi.

Markersiz usulning afzalliklariga SS axborot uzatish tezligini kamaytirmasdan amalga oshirilishi kiradi.

Markersiz usul kamchiligi bo'lib SSning har qanday buzilishlaridan keyin foydali axborotni uzatishni to'xtatishga, tizimni esa, faza rejimiga o'tkazishga to'g'ri keladi. Bunda boshqariluvchi sxemadan blokirovka olib tashlangan bo'lishi kerak.

Boshqa kamchiligi bo'lib axborotni uzatish vaqtida SS to'g'riligi uchun doimiy nazoratning bo'lmasligi hisoblanadi.

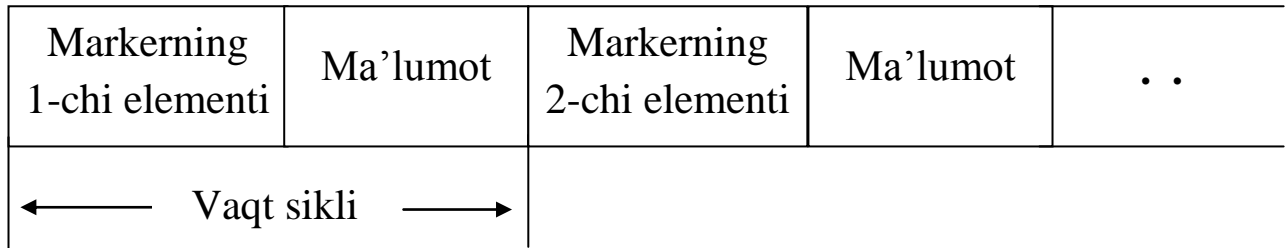
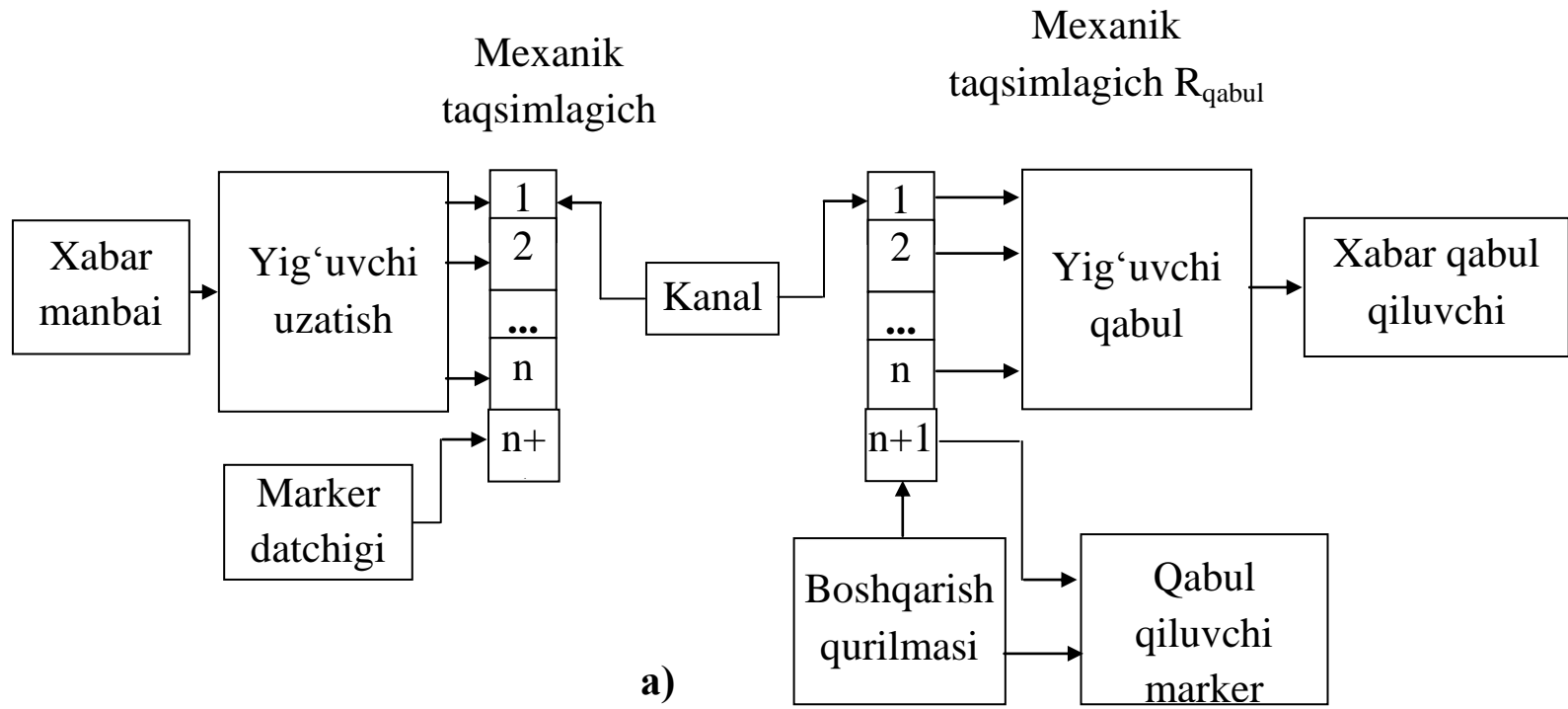
SSning buzilishi xatolarning katta soni paydo bo'lishi bilan, ya'ni sezilarli darajada kechikish bilan aniqlanadi.

Yana bitta kamchiligi bo'lib SS buzilishi to'g'risidagi axborotni uzatish uchun teskari kanal mavjudligi zarurligi hisoblanadi.

SSning markerli usuli. Markyorli usul 4.19-rasmda keltirilgan. Rasmda marker datchigi (fazali kombinatsiya) ulanadigan mexanik taqsimlagichlar ko'rgazmali qilib tasvirlangan. Taqsimlagichning har bir sikli uchun markerning kodli kombinatsiyasining bitta elementi uzatiladi. Agar kombinatsiya n elementlarni tashkil etsa, uni uzatish uchun taqsimlagichning $n+1$ ishlash sikli talab etiladi.

Fazali kombinatsiya uzunligi va uning ko'rinishi yolg'on fazaning minimal ehtimoligiga erishish uchun tanlanadi. Boshqacha aytganda, fazali kombinatsiya elementlarning shunday ketma-ketligini keltirish kerakki, bunda taqsimlagichning har qanday boshqa kontaktidan paydo bo'lish ehtimoligi nolga teng bo'ladi.

Taqsimlagichning tegishli kontaktiga qabul qilishda chiqish boshqariluvchi sxema bilan bog'lanadigan deshifrador markeri ulanadi. Faza taqsimlagichning farqi bo'lganda deshifrador markerni aniqlay olmaydi. Shuning uchun boshqariluvchi sxemaning har bir n sikllari taqsimlagichni bitta kontaktga siljitadi. Bunday siljish deshifrador markerni ro'yhatga olinmagunga qadar davom etadi. Shundan keyin



b)

4.19-rasm. SSning markerli usuli

boshqariluvchi sxema blokirovkalanadi. Taqsimlagichlar ushbu momentdan sinfazali ishlaydi.

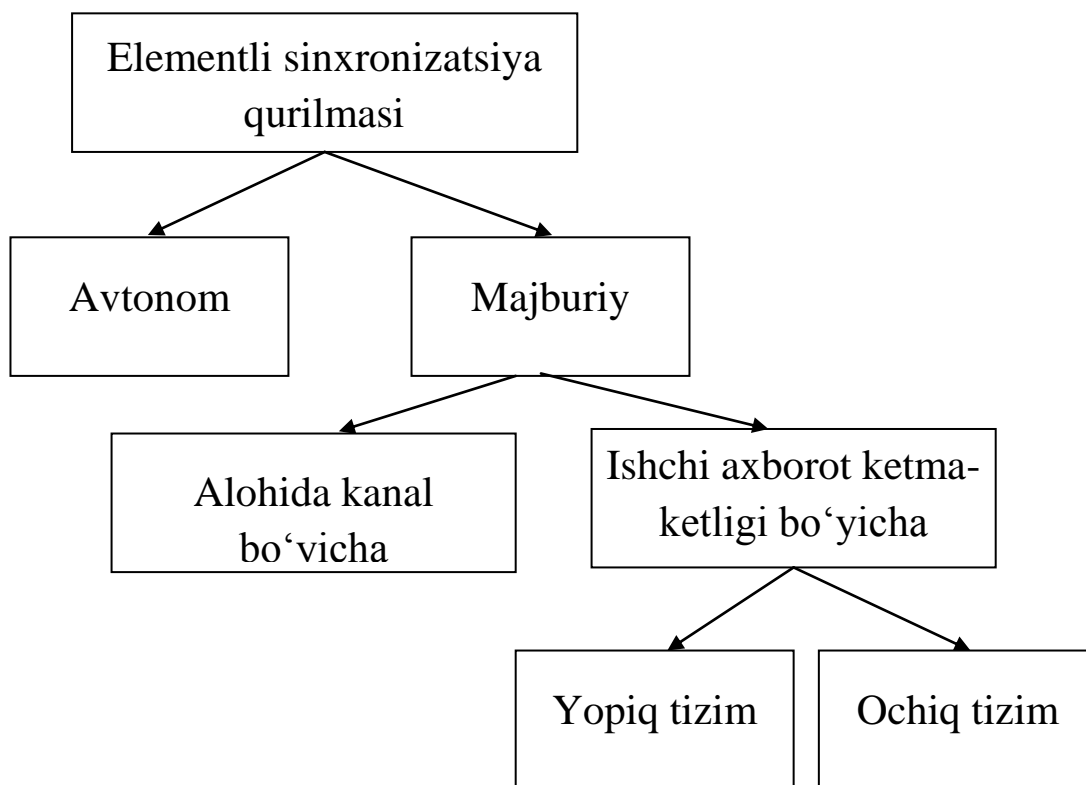
Sinfazalik rejimida deshifratning chiqishidan har bir n sikllar orqali to'g'ri siklli faza mavjudligini tasdiqlaydigan impuls kelib tushadi. Sinfazalik yo'qolishida fazalovchi impuls kelib tushishi to'xtatiladi.

Vaqt o'tishi bilan, masalan, (3-5) n sikllar, boshqariluvchi sxemadan blokirovka olib tashlanadi va tizim izlash rejimiga o'tadi.

Markerli usulning afzalligi SSni doimiy nazorat qilish hisoblanadi.

Markerli usulning kamchiligi marker (fazali kombinatsiya)ni muntazam uzatish zaruriyati sababli aloqaning o'tkazish imkoniyatining kamayishi hisoblanadi.

SQning ko'rsatkichlarini hisoblash. SQ qo'yidagicha klassifikatsiyalanadi (4.20-rasm):



4.20-rasm. Elementli sinxronizatsiya qurilmasining klassifikatsiyasi

1. Ishlatiladigan kirish signalini ko'rinishi bo'yicha:
 - maxsus impuls bilan to'g'irlash qurilmasi;
 - ishchi impuls bilan to'g'irlash qurilmasi.

Birinchi ko‘rinishda axborot kanallari bilan birgalikda maxsus sinxronizatsiya kanali tashkil qilinadi yoki axborot kanali polosasining bir qismi pilot signallar uzatish uchun ajratiladi.

Ammo bu yo‘l qo‘shimcha quvvat ishlatilishiga olib keladi. Alohida chastota polosasini ajratilishi axborot uzatish tezligini pasaytiradi, hamda qabul qiluvchi – uzatuvchi qurilmalarni murakkablashtiradi. Undan tashqari mustaqil uzatiladigan maxsus signallar va BRS, turli buzilishlarga duchor bo‘ladi, bu esa ularni joylashishini qiyinlashtiradi. Amalda ishchi impulslarni ishlatilishi kengroq qo‘llaniladi.

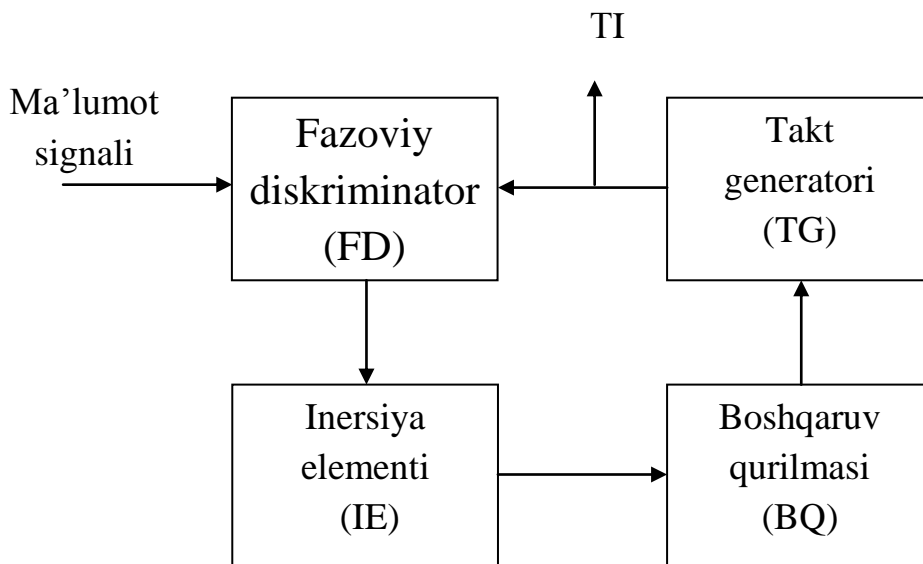
2. SI yoki taktli impulslar (TI) shakllantirish yo‘li quyidagilarga bo‘linadi :

– birlashtirilmagan tizim (ochiq tizim), boshqacha qilib aytganda rezonansli sinxronizatsiya tizimi;

– birlashtirilgan tizim (yopiq tizim) – avtomatik boshqaruv tizimi deb nomlanadi.

Amalda ko‘proq birlashtirilgan SQLari ishlatiladi. Birlashtirilgan SQLarda sinxroimpulslar takt generatorlarida ishlab chiqariladi.

Takt generatorlari chastotasiga ta’sir orqali SQni generator ko‘rsatkichlariga bevosita ta’sir tizimi va boshqacha, qiya ta’sirli tizimlarga bo‘linadi (4.21-rasm).



4.21-rasm. Takt generatoriga bevosita ta’sir ko‘rsatuvchi SQ

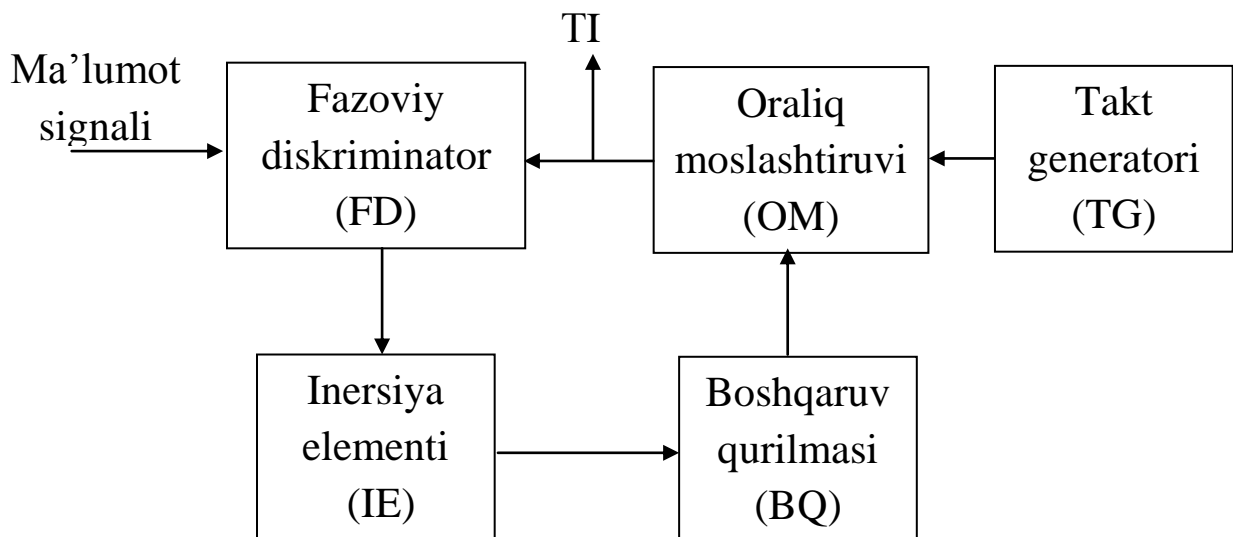
Fazalar tarqalib ketishi, FDda aniqlangandek, u inersiya elementi (IE) orqali kirish signali ko‘rinishida bo‘ladi va boshqaruvchi qurilma (BQ) TGga bevosita ta’sir etadi, uni kerakli bo‘lgan tomonga o‘zgartirib, IE signalni chiqishda o‘rtacha qiladi.

Hamma SQLarni kamchiligi shundaki, TGga bevosita ta'sir TGning ishlash qobiliyatini pasayishi, uning parametrlariga ta'siri, bitta TGni bir nechta SQLarga ishlatishga mumkin emasligi natijasida yuzaga keladigan hol. Shuning uchun SQning bu ko'rinishi oddiy sxema kerak bo'lganda ishlatiladi.

SQ ning birlashtirilgan tizimi, TGga bevosita ta'siri bor, ular quyidagilarga bo'linadi (4.22-rasm):

- releli boshqaruv, unda boshqaruvchi signal vaqti-vaqti bilan uzatiladi va boshqaruvchi signal soniga praporsional holda TI fazasini har doim bir xil qiymatga o'zgartiradi;

- yumshoq boshqaruv, unda boshqaruv signali doimo fazalar tarqalishi qiymatiga ko'ra generator chastotasini o'lchaydi.

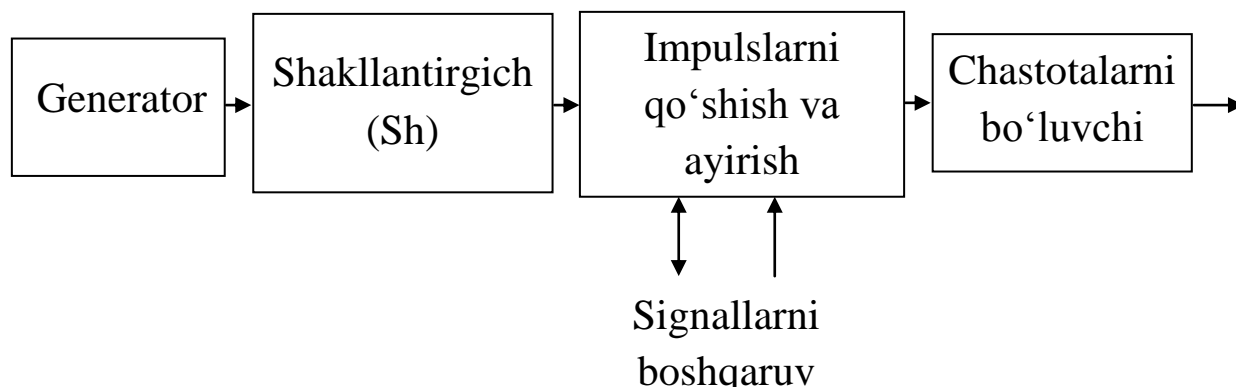


4.22-rasm. TG ga bevosita ta'sir ko'rsatuvchi qurilma

Bunda BQ oraliq moslashtirishga (OM) ta'sir etadi, u esa chastota bo'luvchi sifatida ishlatiladi.

Amalda keng qo'lamda TGga bevosita ta'sir etmaydigan sinxronizatsiya qurilmalari ishlatiladi, ular mahalliy taktli tebranishlar o'tkazadigan oraliqli o'zgartirgichga ta'siri bor. OM sifatida odatda, TIlarni ortidan boruvchi chastotalarni bo'luvchi (ChB) qurilma tushuniladi. ChB ishini boshqarilayotganda TIlarni chiqishdagi fazalarini o'zgartirish mumkin. ChBli qurilmalarni butunlay diskret elementlarda ishlatish mumkin, bu esa ularni ishlab-chiqarilishini va sozlanishini soddalashtiradi.

Eng katta ko‘lamda diskret boshqaruvli sxema ishlatiladi. Diskret boshqaruvli SQni ishlash jarayoni struktura sxemasi 4.23-rasmda keltirilgan.



4.23-rasm. Diskret boshqaruvli SQni ishlash jarayoni struktura sxemasi

G – taktli chastotadan m marta katta bo‘lgan sinusoidal tebranishlarni ishlab chiqaruvchi generator:

$$F_{yuch} = mf_t$$

bu yerda m – chastota bo‘luvchisining bo‘linma koeffitsienti;

Sh – sinusoidal tebranishni f_{yuch} chastotali impuls ketma-ketligiga shakllantirgich;

IQ va A – impulslarni qo‘shish va ayirish sxemasi.

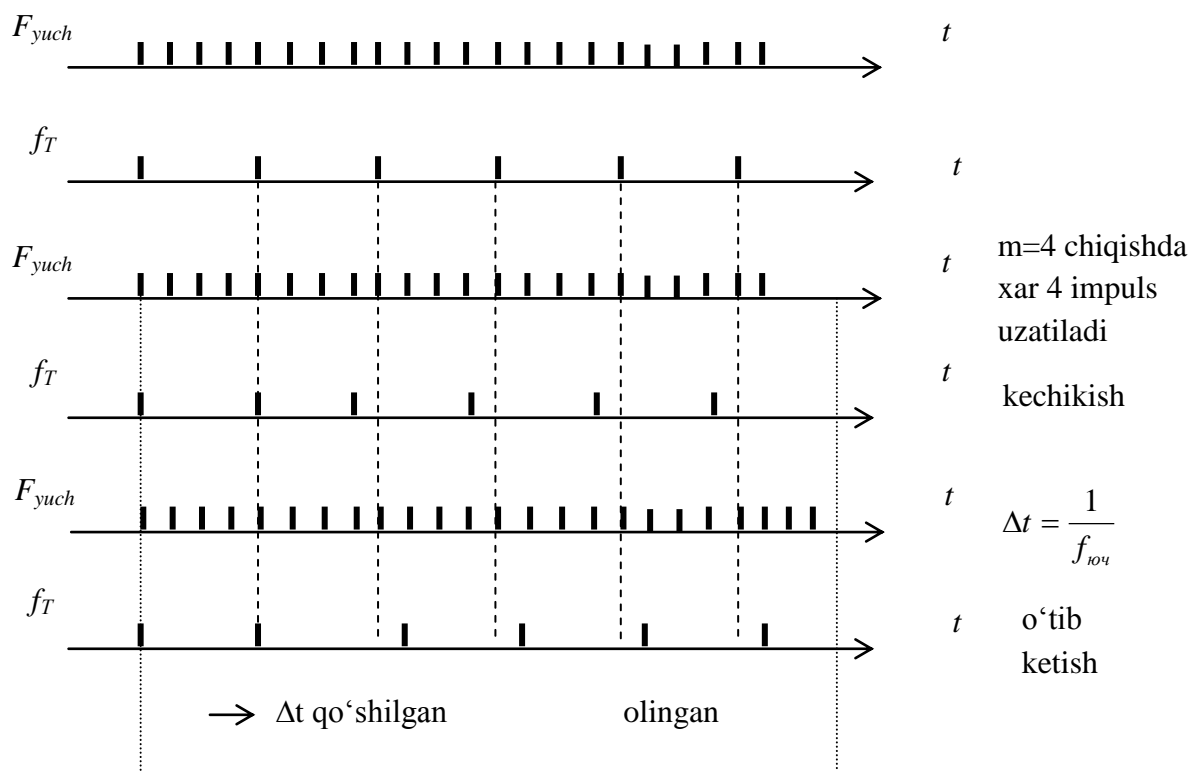
So‘ngra impulslar ketma-ketligi m ga bo‘linadi. Bo‘lish jarayoni vaqt diagrammasi bilan ko‘rsatilgan (4.24-rasm).

Agar bo‘luvchining kirishiga IQ va AS orqali qo‘shimcha impuls bersak, unda chiqish impulslari kattalikdan oldinga ketish orqali suriladi:

$$\Delta t = \frac{1}{f_{yuch}}$$

yana, qo‘shimcha impulslar YuCh generatorining faza impulslari bilan ustma-ust tushmasligi lozim.

Agar bitta impulsni olib tashlasak, unda chiqish impulslarining fazasi Δt qiymatiga o‘zgaradi. Shunday qilib, tashqari yo‘nalishda impulslarni qo‘shish yoki ayirish yo‘li bilan taktli faza ketma-ketligini o‘zgartirish mumkin.



4.24-rasm. SQni ishlash jarayonini tushuntiruvchi vaqt diagrammasi

Berilgan SQ past va o'rtacha tezlikli tizimlarda DMUda ishlatiladi. Diskret boshqaruvli sinxronizatsiya tizimini ba'zi xarakteristikalarini ko'rib chiqamiz.

Diskret boshqaruvli SQ larni parametrlari:

1. TI fazasini τ_0 elementli impulslar qismiga siljishlari, bir impulsni qo'shilishi yoki ayrilishi to'g'irlash qadami deb ataladi:

$$\varphi = \frac{\Delta t}{\tau_0} = \frac{1}{m}.$$

2. SQ doimiy va o'zgaruvchan to'g'irlash effektiga bo'linadi. Doimiy to'g'irlash effektli SQLar faza o'zgarishlaridan qat'iy nazar, TI faza doimo quyidagi kattalikga o'zgaradi:

$$\varphi_{\kappa.\text{э}} = \frac{\tau_0}{m}.$$

O'zgaruvchanda esa:

$$\varphi_{\kappa.\varepsilon} = \alpha_{\kappa} \frac{\tau_0}{m},$$

bu yerda: α_{κ} – koeffitsent $\alpha=1$ dan $\alpha_{\kappa} = n$ gacha o‘zgarishi mumkin, bu faza moslashishiga bog‘liq, $n \leq m$ sharti bilan.

3. To‘g‘irlashning minimal davri t_{min} – to‘g‘irlashni sodir bo‘lmasligining eng kam vaqti. Bu vaqt τ_0 uzunligiga va inersiya elementi o‘rtaligiga bog‘liq:

$$t_{min} = s \cdot \tau_0 = \frac{s}{B}.$$

4. Sinxronizatsiya vaqti bu, vaqt boshlang‘ich fazalar o‘zgarishini to‘g‘irlashga kerak bo‘lgan vaqt. 1:1 axborot ketma-ketligini kirishida:

$$t_{\bar{n}} = sm \frac{s}{B}$$

matn kirishida - belgilangan momentlar 3 marta ko‘proq uchraydi, shuning uchun sinxronizatsiya vaqti kattalashadi:

$$t_c = \frac{3}{2} sm \tau_0.$$

5. Sinxronizatsiya kamchiligi:

$$\varepsilon = \frac{1}{m} + 4k + 3\sqrt{\frac{0,628\delta_{o'zg.k.}}{sm}}$$

bu yerda: m – bo‘luvchining bo‘lish koeffitsienti;

s – reversiv hisobchi (schetchik)ning sig‘imi;

k – tayanch generatorning notuyg‘unlik koeffitsienti.

$\delta_{o'zg.k.}$ – birlamchi elementlar chetlarini o‘zgarishining kvadrati.

6. Dinamik nuqson:

$$\varepsilon_{din} = 3\sqrt{\frac{0,628\delta_{o'zg.k.}}{sm}}$$

7. Tayanch generatorining noturg'unlik koeffitsienti:

$$k \leq \frac{(\mu - \varepsilon)}{200Bt}$$

Nazorat savollari:

1. Sinxronizatsiyaga tushuncha bering?
2. Elementli sinxronizatsiyaga tushuncha bering?
3. Guruhli sinxronizatsiyaga tushuncha bering?
4. Siklli sinxronizatsiyaga tushuncha bering?
5. Sinxronizatsiyalash qurilmalariga quyiladigan talablar nimalardan iborat?
6. SS qurilmalariga qo'yiladigan talablar nimalardan iborat?
7. SSning qurilmasining o'ziga xos xususiyatlari nimalardan tashkil topgan?
8. SS qurilmasi qanday belgi bo'yicha tasniflanadi?
9. SSning markersiz usuliga tushuncha bering?
10. Markersiz usulning afzalliklari va kamchiliklari nimada?
11. SSning markerli usuliga tushuncha bering?
12. Markerli usulning afzalliklari va kamchiliklari nimada?
13. Diskret boshqaruvli SQLarni qanday parametrlari mavjud?

5. AXBOROTNI UZATISH TIZIMLARIDA MODULYATSIYA VA MANIPULYATSIYA

5.1. Panjara tusidagi kodli modulyatsiya. Ko‘p darajali kodli modulyatsiya

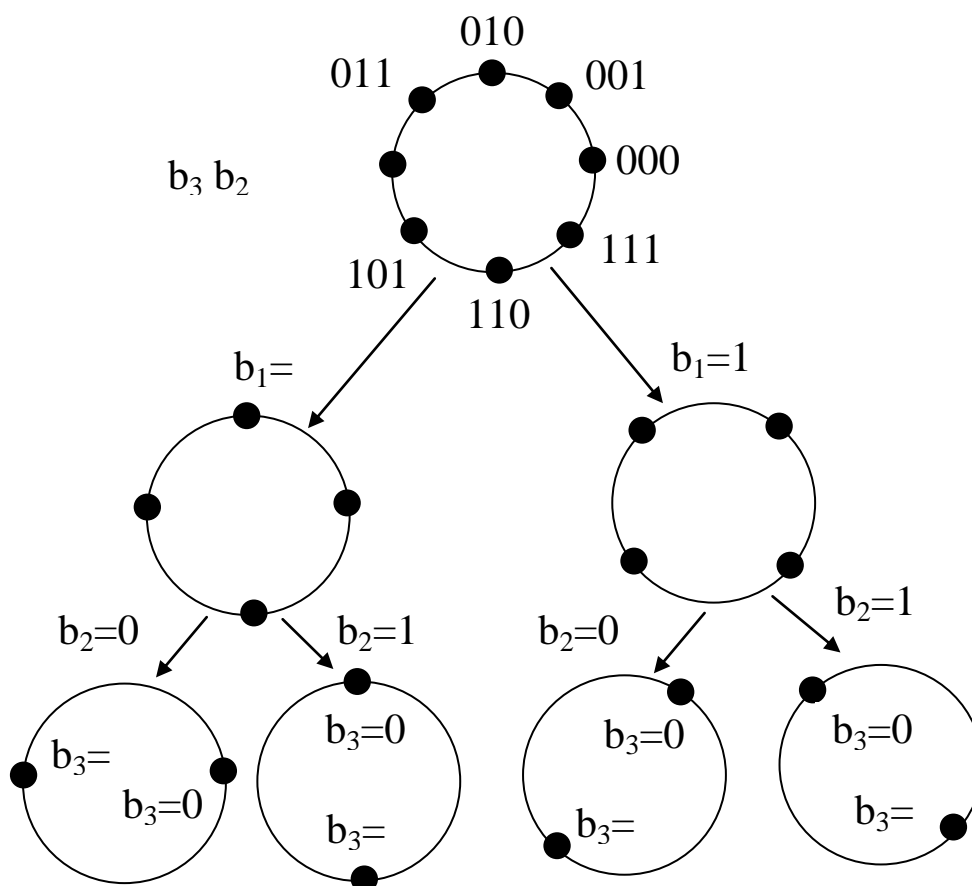
1976 yilda Ungerbyok tomonidan taklif qilingan panjarali kodli modulyatsiyaning asosiy g‘oyasi, ko‘pxadlarni (signalli nuqtalarni) bo‘lish (dekompozitsiya) orqali aks ettirishni amalga oshirishdan iborat. Buning uchun oxirgi avtomat holatidagi o‘tishlar bilan assotsiyalangan panjaraning baza strukturasi tanlanadi va ko‘phadostilar panjaraning qovurg‘asida tasvirlanadi. Yuqori spektr effektivligini talab qilayotgan tizimlarda axborot bitlarni (kodlanmagan) panjaraning parallel qovurg‘alariga o‘zlashtirishga ruxsat beriladi.

Ko‘phad nuqtalarni bo‘lish va uni panjarada aks ettirish. Signalli nuqtalarga yozib qo‘yilgan belgilar, signalli yulduzsimon bo‘lish (dekompozitsiya) orqali aniqlanadi. S modulyatsiya nuqtalari 2^v ko‘pxadida v darajalari bo‘yicha o‘rnatilgan qismlarga bo‘lish sxemasi qo‘llaniladi. i darajasidagi qismlarga bo‘lishda, $1 \leq i \leq v$, ko‘pxadosti signallari ikkita ko‘pxadostiga bo‘linadi: $S_i(0), S_i(1)$, agar $i=1$, $S_1(b_i \dots b_{i-1} 0)$ va $S_1(b_i \dots b_{i-1} 1)$, $i > 1$, d_i^2 masofasi har bir ko‘pxadosti nuqtalari orasida maksimal bo‘lishi uchun $b_i \in \{0,1\}$ belgisi bitlik razryadi i darajasidagi qismlarga bo‘lishda $S_i(b_1 \dots b_{i-1} b_i)$ ko‘pxadosti tanlovi bilan assotsiatsiyalashadi. Bu qismlarga bo‘lish protseSSI barcha signal nuqtalari umumiy nomeratsiyasi bilan yakunlanadi. Har bir signal nuqtasi o‘zining noyob (unikal) belgisini (raqam) keyinchalik $s(b_1 b_2 \dots b_v)$ kabi aniqlanadigan, v bit $b_1 b_2 \dots b_v$ dan olinadi.

Ta’riflangan protsedura 2^v -modulyatsiya yulduzli nuqtalarini standart qismlarga bo‘lishni (Ungerbyok bo‘yicha) amalga oshiradi. Bunday qismlarga bo‘lishda ko‘pxadostilarida ichki masofa kamaymaydigan $d_1^2 \leq d_2^2 \leq d_v^2$ ketma-ketligini hosil qiladi.

5.1-rasmda 8-FM nuqtalari natijasida $d_1^2 = 0,586$, $d_2^2 = 2$, $d_3^2 = 4$ beruvchi tabiiy nomeratsiyasi ko‘rsatilgan.

Ungerbyok koderni «ko‘pxad holatlarida berilgan holatlar soni va berilgan o‘tishlarga ega tugallangan avtomat kabi tasavvur qilgan». U panjara qovurg‘asida ko‘pxadosti nuqtalari va signallariga aks ettirish bir nechta amaliy qoidalarini taklif qilgan.



5.1-rasm. 8-FM yulduzli aks ettirish

Ushbu qoidalar quyidagilardan iborat:

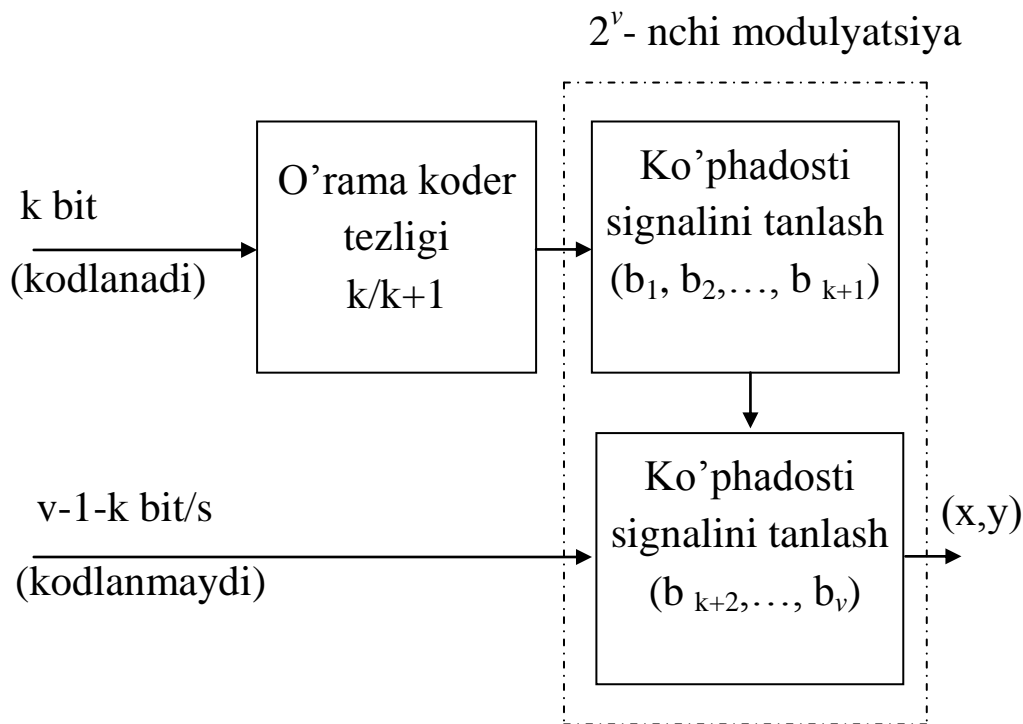
1. Barcha ko'pxadostilar panjaralarda bir hil ehtimollik bilan paydo bo'lishi lozim.

2. Bir hil holatdagi kiruvchi va chiquvchi o'tishlar, eng katta Yevklid masofada joylashgan ko'pxadostilardan yozib olinishi lozim.

Parallel o'tishlar, eng katta Yevklid masofasi bo'yicha (qismga bo'lishning yuqori darajalari) bo'lingan signal nuqtalariga o'zlashtiriladi.

5.2- rasmda panjarali kodli modulyatsiya koderining umumiy tuzilishi ko'rsatilgan. Umumiy holatda panjara kodli modulyatsiya tezligi $(v-1)/v$ panjara strukturasi $(k+1)/k$ tezligidagi O'K orqali aniqlanadi. Kodlanmaydigan axborot belgilar panjarada parallel qovurg'alarga mos keladi.

Haqiqatga yaqinroq panjarali kodli modulyatsiyaning ketma-ketligini tanlash uchun, qovurg'ali belgi generatori parallel qovurg'ani hisobga olish sharti bilan, Viterbi algoritmidan foydalanishi mumkin. Bundan tashqari, eng zo'r qovurg'a tanlovi bloki va omon qolgan kodlanmagan belgilar o'zgartirilgan bo'lishi lozim.



5.2-rasm $(v-1)/v$ tezligidagi panjarali kodli modulyatsiyaning koder tuzilishi.

Omon qolgan yo‘llar xotirasi (yoki teskari yo‘lak xotirasi) $(v-k-1)$ ni o‘z ichiga olishi, kodlanmagan ikkilik belgilariga faqatgina $1/n$ tezligidagi O‘K bittagina bitidan tashqari holatidagi 2^v -lik FM yoki 2^u -lik KAM holatida korrelyatsion metrikalar ikki o‘lchamli belgilar uchun $x_p x_r + u_p u_r$ ko‘rinishiga ega, bu yerda (x_r, u_r) yulduz signal nuqta etaloni, (x_r, u_r) esa qabul qilingan nuqta hisoblanadi.

Panjarali kodli modulyatsiyaning ketma-ketlik shovqinbardoshligini O‘Klar kabi tahlil qilsa bo‘ladi. Bu shuni anglatadiki, panjarali kodli modulyatsiya koderning holatlar diagrammasidan tarozi spektri nomeri qabul qilinishi mumkin. Yagona farq shundan iboratki, endi darajalar butun sonlar (Xemming masofasiga mos keluvchi) bo‘lmasdan, balki oddiy (Yevklid masofasiga mos keluvchi) bo‘ladi. Holatlar diagrammasidagi parallel o‘tishlar borligi faktini hisobga olish zarur. Oxirgisi shuni anglatadiki, modifikatsiyalangan holatlar diagrammasi ikkita a‘zodan iborat.

Ko‘p darajali kodli modulyatsiya. Imai-Xirokava tomonidan taklif qilingan ko‘p darajali kodlash sxemasida $2V$ signallik nuqtalari yulduzli ko‘pxadi uchun v darajali kiritilgan ikkita ko‘pxadostilari qismlariga bo‘lingan sxemadan foydalaniladi. Kodli so‘z elementlari v ikkilik komponentlik kodlari S_i , $1 < i < v$, qismlarga bo‘lishning har bir darajasida

chegaradosh sinflar indeksatsiyasi (nomeratsiya) uchun foydalaniladi. Ko‘p darajali kodlash modulyatsiyasi konstruksiyasining ustunligidan biri Yevklid masofasiga muvofiq signal nuqtalari ko‘pxadostida, δ_i^2 , $i=1, 2, \dots, v$, har bir qismga bo‘lish darajasida, komponentli kodlar Xemming masofasi bilan moslashuvchanlik hisoblanadi.

Uochmen xammualiflari bilan o‘tkazish qobiliyatini idrok qilishga asoslangan bir nechta konstruksiya qoidalarini taklif qilgan (o‘zaro axborot uchun zanjirli tengsizlikni qo‘llagan). Bundan tashqari, ishlarda ko‘rsatilganidek, uzun komponentli kodlarga ega ko‘p darajali kodlar, turbo kodlar kabi yoki past zichlik tekshiruvli kodlar kanalning o‘tkazish qobiliyatiga yetishishadi.

Yana shuni belgilash foydaliki, ikkilik komponentli kodlarni tanlashda, ko‘pxadostilariga bo‘lish dixotomik hisoblanadi, biroq umumiy holatda, komponentli kodlar signal ko‘pxadi qismlariga bo‘lish sxemasiga muvofiq istalgan tugallangan maydondan tanlanishi mumkin. Ko‘p darajali kodlashning boshqa muhim afzalligi shuki, dekodlash (ikkilik kodini) har bir darajada mustaqil amalga oshirilishi mumkin. Bunday ko‘p darajali dekodlash murakkablikni yetarlicha butun kodni optimal dekodlashga qaraganda kamaytirish imkoniyatini beradi.

Konstruksiyalar va ko‘p darajali dekodlash. Belgilaymiz C_i , $1 \leq i \leq v$, ikkilik chiziqli blokli (n, k_i, d_i) kod. Belgilaymiz $v=(v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})$ C_i kodining kodli so‘zi. Kodostilar pozitsiyalarini navbatlashidan hosil bo‘lgan kodni ko‘rib chiqamiz, $\pi(|C_1/C_2| \dots |C_v|)$, kodli so‘z ko‘rinishi bilan:

$$v = (v_{11}v_{21} \dots v_{v1} \ v_{12}v_{22} \dots v_{v2} \dots v_{1n}v_{2n} \dots v_{vn})$$

v vektorning v komponentida har bir blok 2^v ko‘pxadida S modulyatsiya nuqtasi, signal belgisi (raqami) hisoblanadi. Unda:

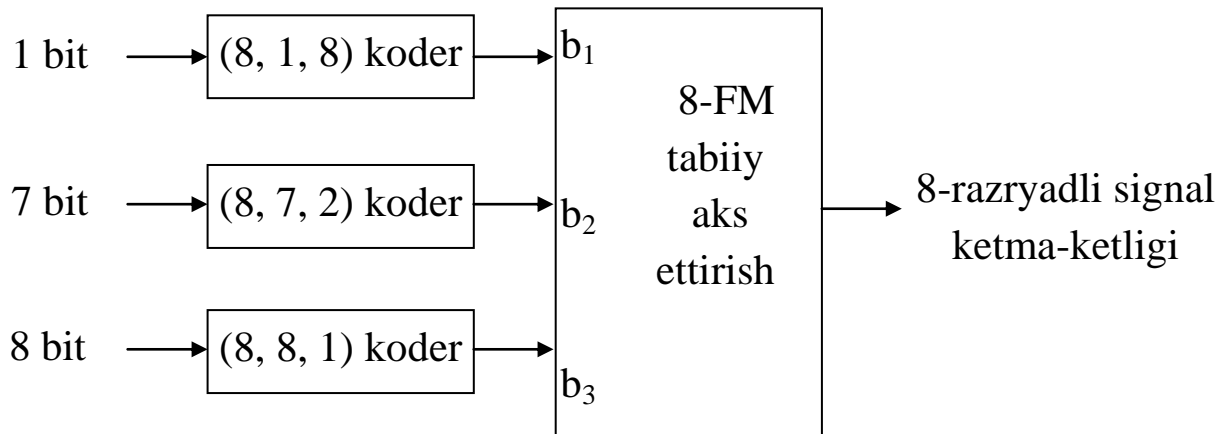
$$s(v) = (s(v_{11} \ v_{21} \ \dots \ v_{v1}), \ i(v_{12} \ v_{22} \ \dots \ v_{v2}), \ \dots, \ s(v_{1n} \ v_{2n} \ \dots \ v_{vn}))$$

S da signalli nuqtalar ketma-ketligi hisoblanadi. S ko‘pxadidan signallar ketma-ketligi ko‘rinishi quyidagicha:

$$A = \{s(v): v \in \pi(|C_1/C_2| \dots |C_v|)\}$$

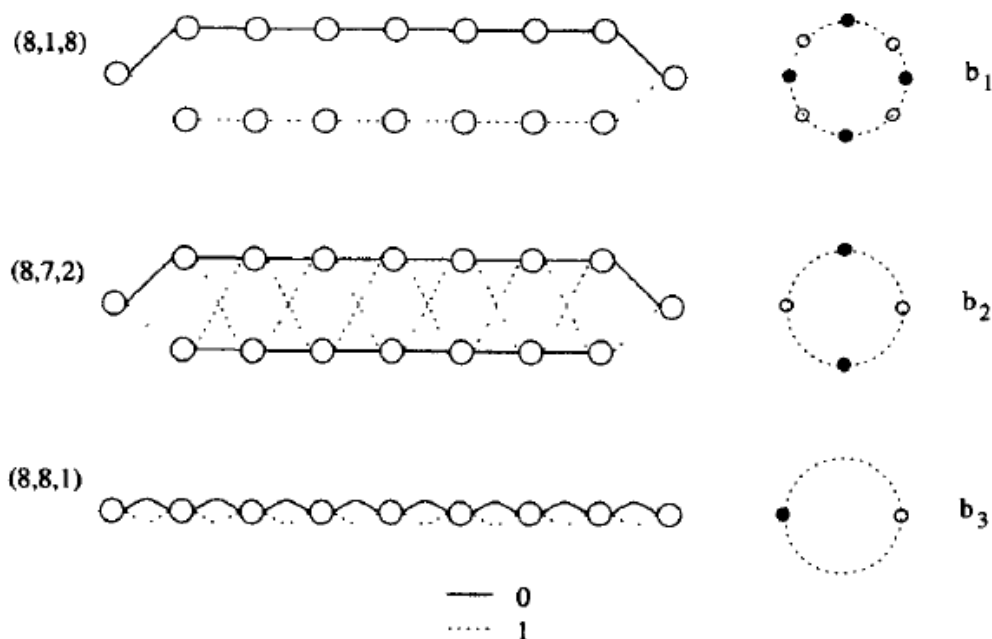
v darajali modulyatsiya kodini S signalli ko‘pxadi ustida yoki v darajali konstruksiyani kodli modulyatsiyaning 2^v signal ko‘pxadida hosil qiladi. Bunday tavsif o‘rama komponentli kodlarga ham tegishli. 5.3 rasmda 8-

FM signallarida ko‘p darajali kodlash modulyatsiya tizimiga misol keltirilgan.



5.3-rasm. 8-FM signallarida ko‘p darajali kodlash modulyatsiya tizimiga misol.

5.4-rasmda 8-FM signallarida ko‘p darajali kodlash modulyatsiya misolida komponentli kodlar panjarasi keltirilgan.

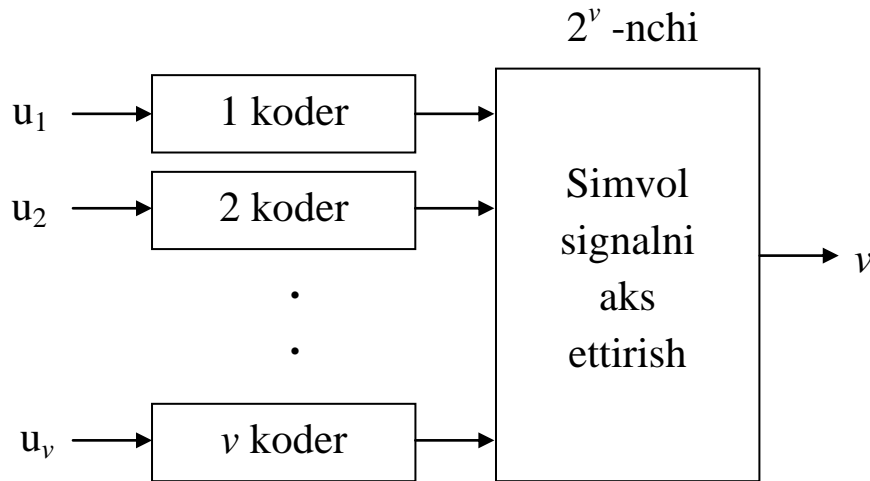


5.4-rasm. 8-FM signallarida ko‘p darajali kodlash modulyatsiya misolida komponentli kodlar panjarasi

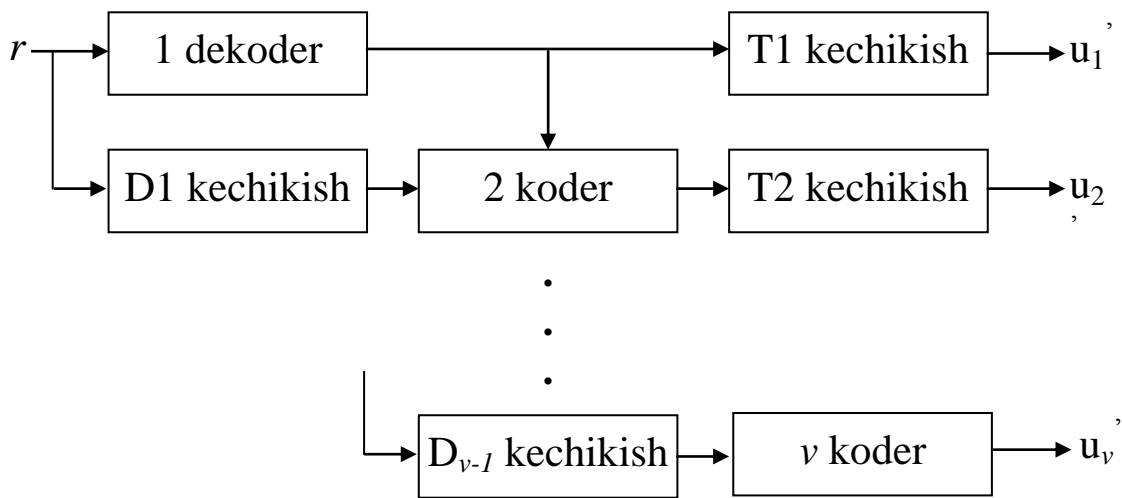
Bu ko‘pdarajali konstruksiyaning tezligi yoki spektral effektivligi $R=(k_1+k_2+\dots+k_v)/n$ (bit/simvol)ga teng. Minimal Yevklid masofasining kvadrati bu tizimni $D_c^2(\Lambda)$ koniqtiradi:

$$D_C^2(\Lambda) \geq \min_{1 \leq i \leq v} \{d_i \delta_i^2\}$$

Ta'kidlanganidek, ko'pdarajali kodlashning afzalliklaridan biri ko'p darajali dekodlashdir. 5.5 (a) va (b) rasmlarda panjarali kodlarni kodlash va dekodlashda foydalaniladigan asosiy strukturalar ko'rsatilgan.



a) ko'p darajali kodlash



a) ko'p darajali dekodlash

5.5-rasm. Panjarali kodli modulyatsiya tizimi uchun koder va dekoderning baza strukturasi

Ko'p darajali dekodlash maksimum haqiqatga yaqinlik bilan dekodlashga nisbatan murakkablikni kamaytirishga olib keladi. Biroq ko'p darajali dekodlashda dekoderning boshqa darajalari, katta darajalarida kodlash qo'llanilmaydi deb hisoblaydi. Bu minimal masofada kodli

soʻzlarning miqdorini koʻpayishiga olib keladi. Boshqacha qilib aytganda, xatolar koeffitsienti yoki yaqin qoʻshnilar raqamlari oshishiga olib keladi. Bu effekt bilan bogʻliq kattalik yoʻqotish komponentli kodning tanlovi va signallarda belgining aksiga bogʻliq. Xatolik ehtimolligi 10^{-2} - 10^{-5} diapazonida bu kattalik bir necha dB ga yetishi mumkin.

Oʻrta va katta uzunlikdagi kodlar uchun chegaraviy effektivligiga panjarali kodli modulyatsiyaning gibrid yondashish yordamida erishish mumkin, qachonki birinchi darajalarida quvvatli turbo kodlardan, qolgan darajalarida esa qattiq dekodlashga ega ikkilik kodlaridan foydalaniladi.

Panjarali kodli modulyatsiya xatolardan tengsiz himoya hosil qilishning qulay sxemasi hisoblanadi, chunki u qismlarga boʻlishning har bir darajasida kodli ketma-ketlik orasida minimal Yevklid masofasini konstruksiyalashda zarur moslashuvchanlikka ega. Biroq diqqat bilan belgi va signal orasidagi tasvirni tanlash lozim, qidirayotgan tengsiz himoyani buzmaslik uchun aralash qismlarga boʻlishda, boshqalari Ungerbyok tomonidan taklif etilgan qoidalar boʻyicha bajarilganda, baʼzi boʻlish darajalari nostandart hisoblanadi. Bu usul bilan xato koeffitsienti va konstruksiya darajalari boʻyicha Yevklid masofasi orasida yaxshi almashinuvga erishiladi.

Tengsiz himoyaga erishish uchun Yevklid masofasi qismlarga boʻlish darajalari boʻyicha quyidagicha tanlanadi: $d_1\delta_1^2 \geq d_2\delta_2^2 \geq \dots \geq d_v\delta_v^2$

Nazorat savollari:

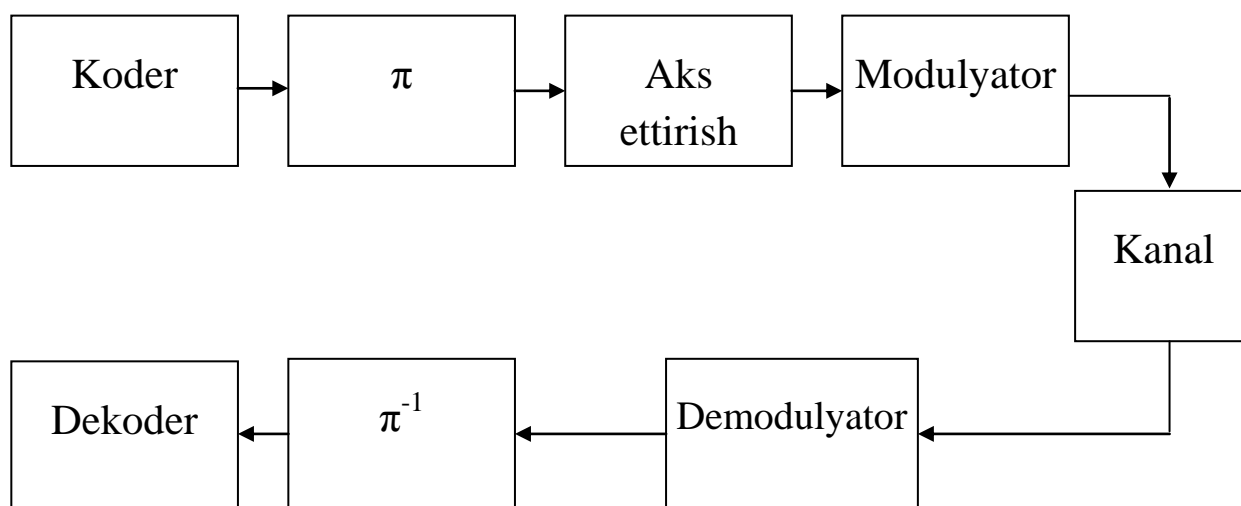
1. Ungerbyok qanday qoidalarni taklif qilgan?
2. Panjarali kodli modulyatsiyaning ketma-ketligini tanlash uchun nima qilish kerak?
3. Imai-Xirokava tomonidan taklif qilingan koʻp darajali kodlash sxemasiga tushuncha bering?

5.2. Bitlarni aralashtirish bilan amalga oshiriladigan kodli modulyatsiya. Panjarada turbo kodli modulyatsiya

Ushbu tizim keyinchalik soxta tasodifiy bitlar boʻyicha aralashtirish mavjud ikkilik kodlashga asoslangan.

Aralashtirishning chiqishi v bitlardan iborat bloklarga guruhlar boʻyicha birlashtiriladi, ushbu v bitlar bilan esa 2^v -lik modulyatsiya turkumining nuqtalari Grey aks ettirish orqali raqamlashtiriladi. Bitlarni

aralashtirish bilan amalga oshiriladigan kodli modulyatsiyaning o‘tkazish qobiliyati rasmda tasvirlangandek Grey aks ettirishdan foydalanadigan turbo kodli modulyatsiyaning o‘tkazish qobiliyatiga juda yaqin. Bundan tashqari, umumiy Releev to‘xtalishlari mavjud kanallarda bitlarni aralashtirish bilan amalga oshiriladigan kodli modulyatsiya tizimi simvollar bo‘yicha aralashtirish mavjud kodli modulyatsiya tizimlardan ustun bo‘ladi. Ushbu tizimning tuzilish sxemasi 5.6-rasmda keltirilgan.



5.6-rasm. Bitlarni aralashtirish bilan kodli modulyatsiya tizimi

Minimal masofasi D_{min} bo‘lgan 2^V nuqtalarning signalli turkumini χ deb belgilaymiz. $\ell^1(x)$, $i = 1, 2, \dots, v$, signal x nuqta raqamining i -bitini belgilangan va bunday $\chi_b^i \subset \chi$ esa i -pozitsiyada $b \in \{0,1\}$ qiymatga ega nuqtalar (belgilar), signalli nuqtalar kichik to‘plamlaridan iborat bo‘lsin.

Grey aks ettirishi. $\{0,1\}^v$ dan nuqtalar to‘plamiga ikkilik vektorlar to‘plamidan o‘zaro noyob tasvirlash Grey aks ettirishi bo‘ladi, agarda barcha $i = 1, 2, \dots, v$ va $b \in \{0,1\}$ uchun $\chi \in \chi_b^i$ ko‘pi bilan $\gamma \in \chi_b^i$ eng yaqin ko‘shniga ega bo‘lib, masofasi D_{min} , unda $b = b \oplus 1$. Grey aks ettirishi bitlarni aralashtirish bilan amalga oshiriladigan kodli modulyatsiya tizimining asosiy kaliti hisoblanadi. Uning asosiy vazifasi xotirasiz mustaqil, ikkilik parallel v kanallardan iborat ekvivalent kanalni yaratish hisoblanadi. Har bir ikkilik kanali $x \in \chi$ signal nuqtasi raqamidagi ma’lum pozitsiyaga mos keladi. Ikkilik koderning chiqishida har bir kodli so‘zga aralashtiruvchi kodli simvollarni uzatish uchun signal belgisining tasodifiy tanlangan pozitsiyani yozib beradi.

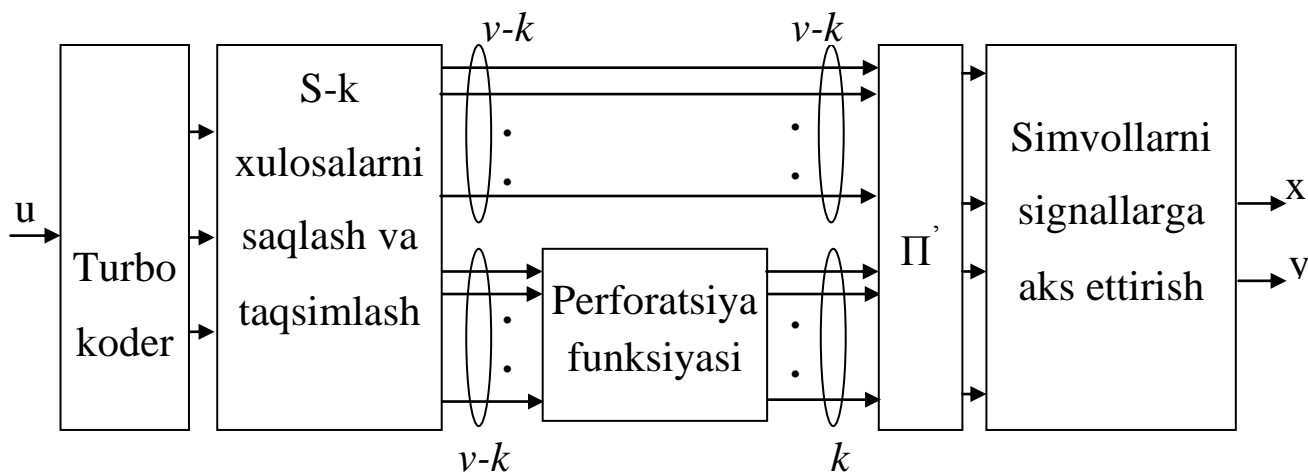
Aralashtirish. Additiv gaussning oq shovqini mavjud kanal bo‘yicha signallarni uzatishda qisqa aralashtirishdan foydalanish yetarli. Uning

asosiy vazifasi v bitga signal, 2^V signalli nuqtalar modulyatsiya to‘plami tufayli paydo bo‘ladigan bitlar orasidagi korrelyatsiyani bo‘lishdan iborat. Shuning uchun yaxshi samaradorlikka erishish uchun uzunligi v dan bir necha barobar oshadigan aralashtirish yetarli deb hisoblash mumkin. Ta’kidlash joizki, ushbu aralashtirish turbo kod yoki kodlar ishlab chiqarish aralashtirishi bilan umumiy jihatlari yo‘q.

Panjarada turbo kodli modulyatsiya. Aralashtirish va raqamli modulyatsiya bilan turbo kodlar yoki ishlab chiqilgan kodlarni kombinatsiya qilish bo‘yicha turli yondashuvlar mavjud:

- amaliy kodli modulyatsiya;
- simvollar bo‘yicha aralashtirish bilan panjarada turbo kodli modulyatsiya;
- bitlar bo‘yicha aralashtirish bilan panjarada turbo kodli modulyatsiya.

Amaliy turbo panjarali kodli modulyatsiya. Turbo kod yuqori samaradorlik ta’sirida 1994 yil amaliy kodli modulyatsiyaning boshqa amaliy sxemasi taklif qilingan edi. Uning tuzilish sxemasi 5.7-rasmda ko‘rsatilgan. Ushbu sxemaning asosiy elementi amaliy turbo panjarali kodli modulyatsiya boshqa sxemalardagidek ikkilik ketma-ketliklarni turbo kodlash va dekodlashni qo‘llash hisoblanadi.

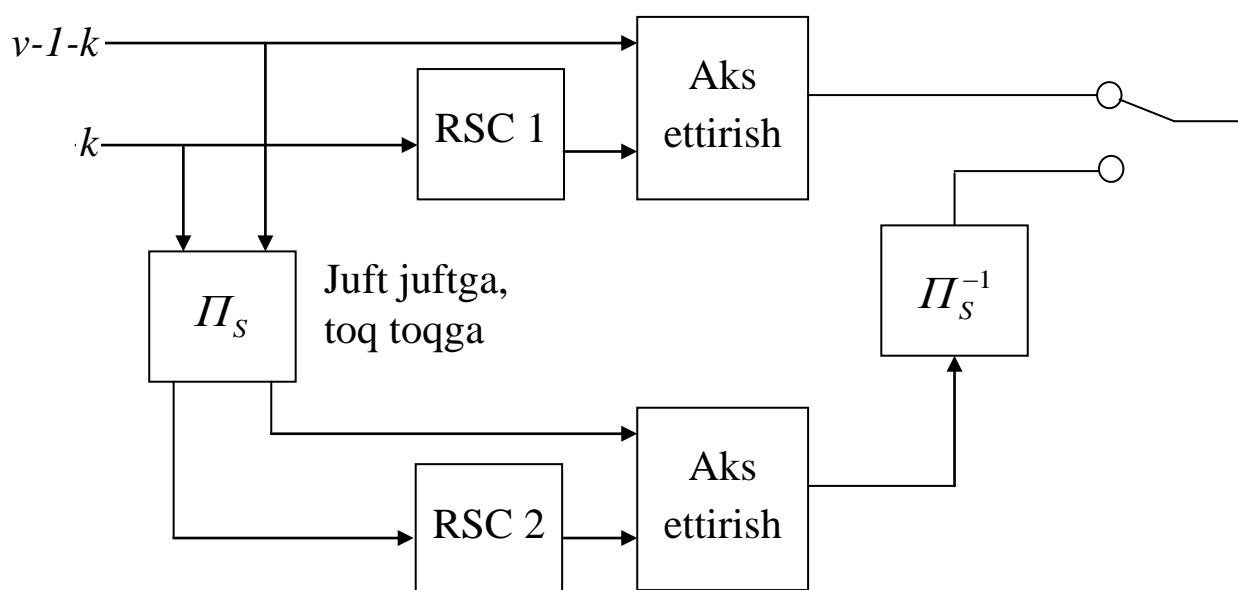


5.7-rasm. Raqamli modulyatsiya va turbo kod kombinatsiyasi

Bu holat, huddi bitlarni aralashtirish bilan amalga oshiriladigan kodli modulyatsiyadagi singari, bitlar bo‘yicha belgilarga e’tibor berishni talab qiladi.

Simvollar bo‘yicha aralashtirish bilan panjarada turbo kodli modulyatsiya. 1995 yilda Robertson va Fyors (Robertson & Worz)lar Ungerbyok [Ungl] taklif qilgan rekursiv tizimli o‘rama kodlardan turbo kodga o‘hshagan tizimda komponent kodlari sifatida foydalanishni taklif

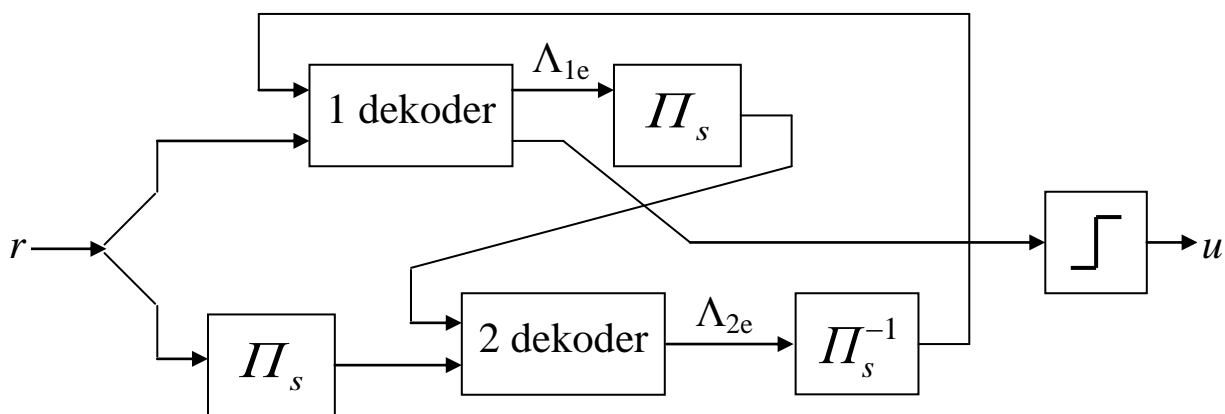
qilishdi. Ushbu tizimning tuzilish sxemasi 5.8-rasmda ko‘rsatilgan.



5.8-rasm. Simvolli aralashtirishda panjarada turbo kodli modulyatsiya koderining tuzilishi

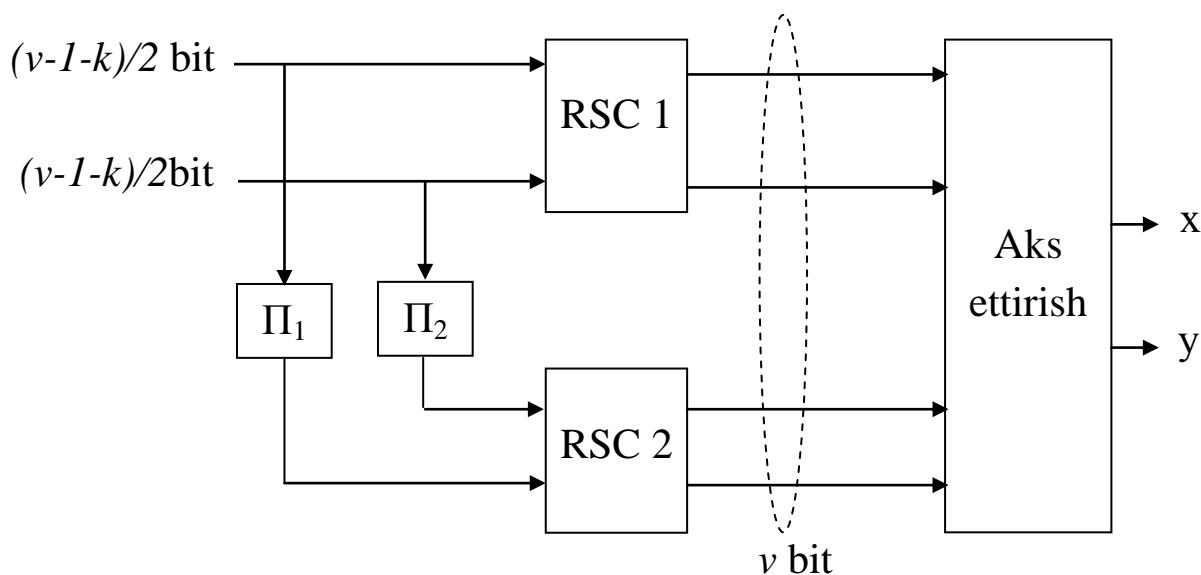
Ushbu sxemadan ko‘rinib turibdiki, aralashtirish ikkilik turbo kodlardagi ikkilik simvollarni aralashtirishdan farqli ravishda v bitlardan tuzilgan simvollar ustidan amalga oshiriladi.

Bu yerda har bir modulyatsiya nuqtaga ikki yo‘l olib borishi tufayli ortiqcha simvollarni perforatsiya qilish zarur. Bundan tashqari, komponent kodlari va aralashtirish konstruksiyasini astoydil tanlash talab etiladi. Kod parallel o‘tishlarga ega bo‘lmasligi kerak, aralashitirish esa juft pozitsiya juftga, toq esa toq pozitsiyaga o‘tadi yoki juft toqqa, toq esa juftga o‘tadigan holda amalga oshirilishi lozim. Iterativ dekodlashga nisbatan shuni ta’kidlash lozimki, bu yerda tizimli va tashqi (tashqaridan kelib tushadigan) komponentlarni ajratish mushkul, chunki ikki turi ham bir xil simvol orqali uzatiladi. Shunga qaramasdan, LLR (Log-Likelihood Ratio-xaqiqatga o‘hshashlik munosabat logarifmlari) hisoblashni aprior hamda tizimli va tashqi qismlarga ajratish mumkin. Ushbu axborot komponentli dekoderlar tomonidan faqatgina bir marta ishlatilishini nazorat qilish kerak. Ushbu sabablarga ko‘ra koder chiqishida ortiqcha simvollarni o‘chirish uchun selektor ko‘rinishidagi qurilma paydo bo‘ldi. 5.9-rasmda panjarada turbo kodli modulyatsiya uchun iterativ dekoderning tuzilmaviy sxemasi keltirilgan.



5.9-rasm. Simvollar bo‘yicha aralashtirish bilan panjarada turbo kodli modulyatsiya uchun iterativ dekoder

Bitlar bo‘yicha aralashtirish bilan panjarada turbo kodli modulyatsiya. 1996 yilda Benedetto hammualliflari bilan birgalikda koder chiqishiga ma’lumot bitining faqatgina bir marta paydo bo‘lishini ta’minlaydigan simvollar perforatsiyasi qoidasini taklif qilishdi. Bundan tashqari, ortiqcha simvollar perforatsiyasi bilan simvollar bo‘yicha aralashtirishdan farqli ravishda ular ko‘pgina bitlar bo‘yicha aralashtirishdan foydalanishni taklif qilishdi. Ikki komponent kodlar uchun koderning tuzilish sxemasi 5.10-rasmida ko‘rsatilgan.



5.10-rasm. Bitlar bo‘yicha aralashtirish bilan turbo panjarali kodli modulyatsiya uchun koderning tuzilish sxemasi

MAR (Maximum of A-posteriori Probability – aposterior ehtimollikni maximum algoritmi)ni dekodlash va bitli belgilar. Bitlar bo‘yicha aralashtirish panjarada turbo kodli modulyatsiya tizimi uchun

dekoder tuzilmasi ikkilik turbo kodning dekoderi tuzilmasiga o'xshashdir. Asosiy farq iterativ protsedurada dekoderlar orasida bajarilishi shart bo'lgan LLR birliklarni bitlardan simvollar bo'yigacha va aksincha, simvollardan bitlar bo'yigacha o'zgarishidan iborat.

Bitlar bo'yicha aralashtirish bilan panjarada turbo kodli modulyatsiyani dekodlash uchun alohida bitlar uchun hisoblangan LLR birligi simvollar bo'yicha aprior ehtimolliklarga o'zgartirilishi kerak. Aksincha, simvollar uchun aprior ehtimolliklar bitlar bo'yicha LLR tashqi qiymatlarga o'zgartirilishi kerak.

Nazorat savollari:

1. Bitlarni aralashtirish deganda nima tushunasiz?
2. Amaliy turbo panjarali kodli modulyatsiyaga tushuncha bering?
3. Simvollar bo'yicha aralashtirish bilan panjarada turbo kodli modulyatsiyaga tushuncha bering?
4. Bitlar bo'yicha aralashtirish bilan panjarada turbo kodli modulyatsiyaga tushuncha bering?
5. MARni dekodlash va bitli belgilarga tushuncha bering?

5.3. Zamonaviy modemlarda modulyatsiya va demodulyatsiya usullari

Zamonaviy modemlarda ishlatiladigan modulyatsiyalarga tushuncha berishdan oldin modulyatsiya, demodulyatsiya va manipulyatsiya usullari to'g'risida to'xtalib o'tsak.

Modulyatsiya jarayoni deb - axborot signalini liniyada uzatishga mo'ljallangan signalga o'zgartirish tushuniladi. Oddiy holda signal modulyatsiyasi uchun tashuvchi deb nomlanuvchi maxsus belgilangan chastotadagi yuqori chastotali signaldan foydalaniladi. Modulyatsiyalangan signalning qayta o'zgarishi demodulyatsiya deb ataladi.

Diskret modulyatsiya natijasida diskret xabar α_i simvollariga ma'lum kodlash usulidan foydalangan holda tegishli kodlar kombinatsiyalari biriktiriladi. Odatda bu kodlar kombinatsiyalari "1" va "0" ikkilik ($M = 2$) elementar signallardan iborat bo'ladi. Bu elementar signallar yuqori chastotali tashuvchini modulyatsiyalaydi. Modulyatsiya tashuvchining modulyatsiyalangan parametri ko'p hollarda modulyatsiyalovchi

signaldagi bir-biridan farqlanuvchi elementar signallarga mos ravishda ikkilik aloqa tizimlari $s_1(t)$ va $s_2(t)$ yoki ko‘p asosli ($M > 2$) bo‘lganda $s_1(t)$, $s_2(t)$, ... , $s_m(t)$ ta turli ko‘rinishlarni oladi. Modulyatsiya natijasida modulyatsiyalangan signal modulyatsiyalovchi cheklangan sonli signallardan biriga mos keluvchi ko‘rinishni olgani uchun, diskret modulyatsiyalangan signallarni *manipulyatsiyalangan signallar* deb ham ataladi.

Odatda diskret modulyatsiyalangan signallarni shakllantirishda tashuvchi sifatida yuqori chastotali garmonik signallardan foydalaniladi:

$$u_T(t) = A_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

va uning amplitudasi A_0 , chastotasi ω_0 va fazasi φ_0 ni diskret signallarga mos ravishda o‘zgartirib AM, ChM va FM signallarni olish mumkin.

Modulyatsiyani amalga oshiruvchi qurilma modulyator, manipulyator yoki signal generatori deb ataladi.

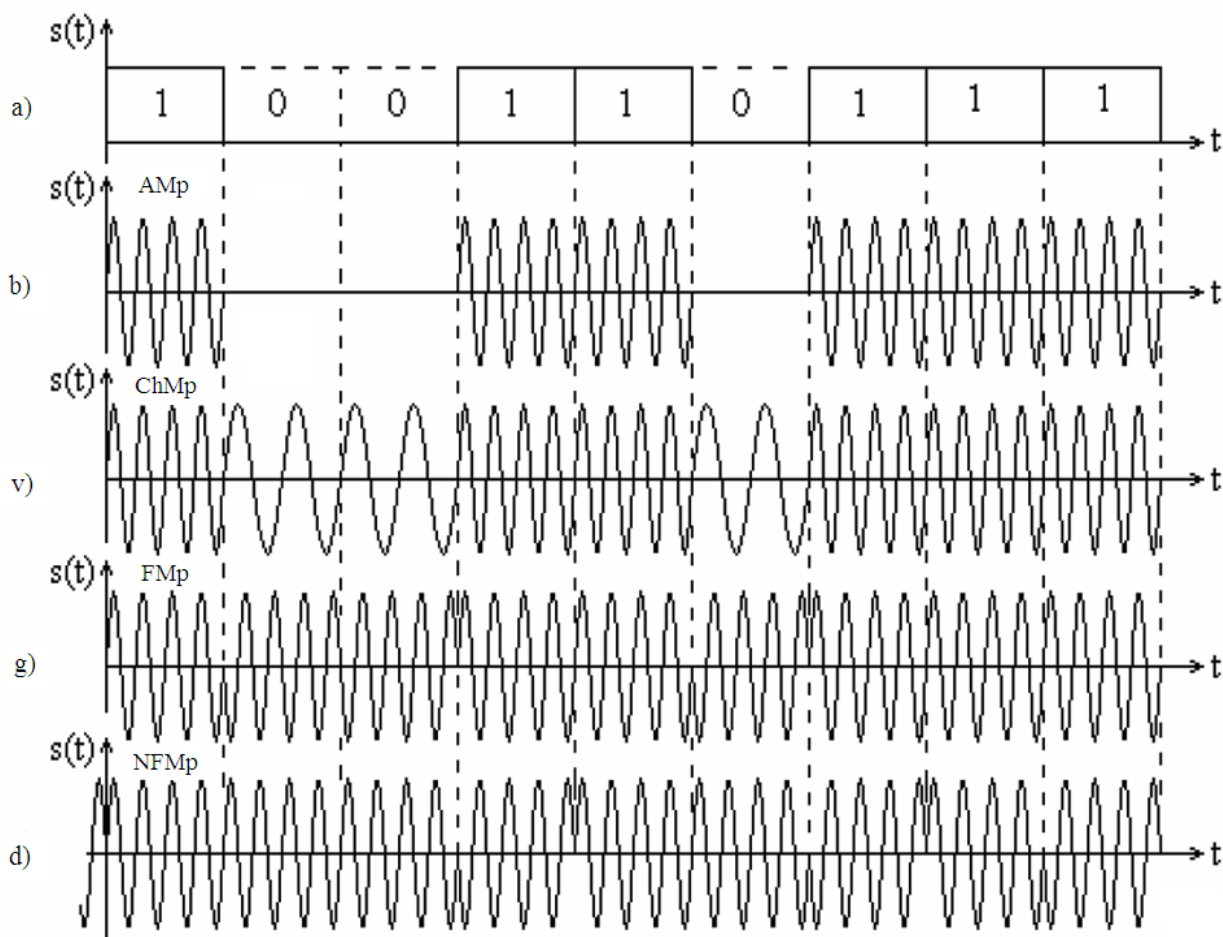
“1” va “0” elementar simvollar ketma-ketligiga mos ravishda manipulyatsiyalangan AM, ChM, FM va NFM signallar vaqt diagrammalari 5.11-rasmda keltirilgan.

Amplitudasi diskret modulyatsiyalangan signal (5.11a-rasm)da “1” simvoli davomiyligi τ_0 ga teng bo‘lgan impulsni uzatish orqali, “0” simvoli esa impuls uzatilmasdan amalga oshiriladi. Chastota manipulyatsiyasida “1” ni uzatish chastotasi f_1 va “0” ni uzatish chastotasi f_2 bo‘lgan tashuvchini τ_0 vaqt davomida uzatish orqali amalga oshiriladi.

Oddiy fazasi manipulyatsiyalangan signallarda yuqori chastotali tashuvchisi fazasi har gal “1” simvoli “0” ga almashganda va “0” simvoli “1” ga almashganda $180^\circ(\pi)$ ga o‘zgaradi.

FM signallarni qabul qilishdagi ba’zi muammolardan holi bo‘lish uchun, hozirda asosan fazasi nisbiy modulyatsiyalangan (NFM) signallardan foydalaniladi. Bunda oddiy FMdan farqli NFM signal tashuvchi fazasi “1” simvoli uzatilganda 180° ga o‘zgaradi, “0” simvoli uzatilganda tashuvchi fazasi o‘zgarmas saqlanadi. NFM signalda fazaning o‘zgarishi avvalgi simvolga (“1” yoki “0”) nisbatan bo‘ladi.

Bu usuldan ChM, AMLarda ham foydalanib nisbiy ChM (NChM) va nisbiy AM (NAM) signallarni shakllantirish mumkin. Delta modulyatsiyani ham nisbiy modulyatsiyalangan signal deb hisoblash mumkin.



5.11-rasm. Manipulyatsiyalangan AM, ChM, FM va NFM signallar vaqt diagrammalari

Raqamli aloqa tizimlarida (radioteleometriya, radioboshqaruv va boshqalar) birlamchi axborot tashuvchi sifatida impuls ketma-ketligidan ham foydalaniladi. Bu impuls ketma-ketligi quyidagi asosiy parametrlarga ega: impuls amplitudasi, takrorlanish chastotasi, impuls davomiyligi. Ushbu parametrlarning birortasini uzatilayotgan xabarga mos ravishda o'zgartirish natijasida impulsni modulyatsiyalash amalga oshiriladi.

Impuls ketma-ketligini modulyatsiyalash (impuls modulyatsiyasi). Modulyatsiyalanadigan impuls ketma-ketligi chastotasi $V.A.$ Kotelnikovning uzluksiz signallarni diskretlash haqidagi teoremasi asosida aniqlanadi, bunda impuls takrorlanish chastotasi f_i modulyatsiyalovchi analog signal maksimal chastotasi F_m dan kamida ikki barobar katta bo'lishi shart.

Turli parametrlari modulyatsiyalangan impuls ketma-ketliklari vaqt diagrammalari 5.12-rasmda keltirilgan.

1. Impuls amplitudasi modulyatsiyasi (IAM), bunda impulslar ketma-ketligi amplitudalari uzatilayotgan xabarga mos ravishda o'zgaradi. Impuls amplitudasi modulyatsiyalanganda impuls amplitudasi quyidagicha o'zgaradi:

$$A(t) = A_0 + \Delta A[u(t)]$$

IAM signallar ikki xil bo'lishi mumkin:

a) birinchi tur IAM-I, bunda impulslar oniy qiymatlari modulyatsiyalovchi xabarga mos ravishda o'zgaradi;

b) ikkinchi tur IAM-II, bunda impuls amplitudasi uning davomiyligi τ_0 da o'zgarmas bo'lib, modulyatsiyalovchi signalning takt nuqtasidagi qiymatiga mos keladi (5.11v-rasm).

2. Impuls davomiyligi modulyatsiyasi (IDM), bunda uzatilayotgan xabarga mos ravishda impuls (kengligi) davomiyligi τ_0 o'zgaradi. Impuls davomiyligi modulyatsiyalanganda impuls kengligi quyidagicha o'zgaradi:

$$\tau_0(t) = \tau_0 + 2\Delta\tau_m[u(t)],$$

bunda, $\Delta\tau_m$ – impulsning bir tomonga maksimal kengayishi.

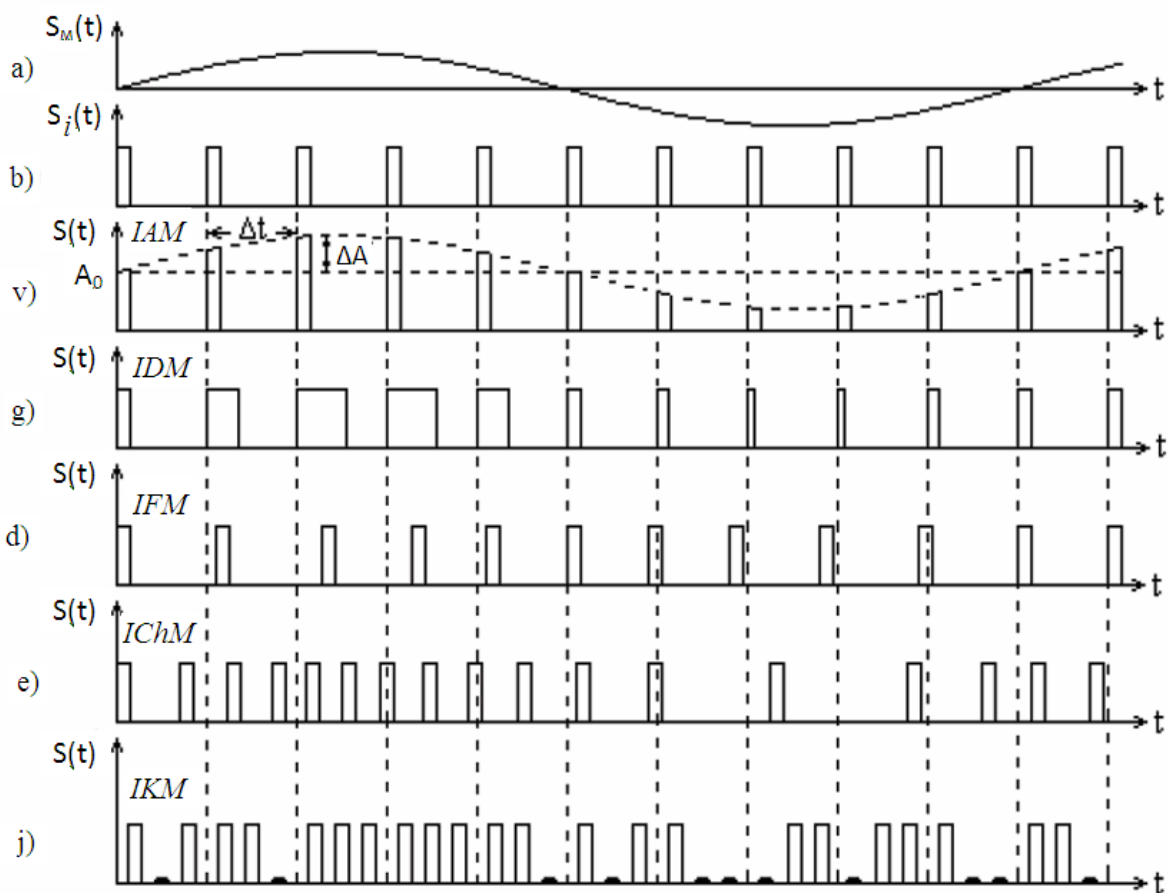
IDM ikki turli bo'lishi mumkin (5.12 g-rasm):

a) impulsning takt chizig'iga nisbatan faqat bir tomonga – orqa tomonga $\Delta\tau(t)$ ga uzatilayotgan xabar signali amplitudasiga mos ravishda kengayishi;

b) impulsning takt chizig'iga nisbatan har ikki tomonga uzatilayotgan xabar amplitudasiga mos ravishda $\Delta\tau(t)$ ga kengayishi (old va orqa frontning bir hilda surilishi).

3. Impuls fazasi modulyatsiyasi (IFM), bunda uzatilayotgan xabarga mos ravishda impulslarning holati takt chizig'iga nisbatan chapga yoki o'ngga siljiydi (davomiyligi τ_0 o'zgarmas saqlanib qoladi, 5.12d-rasm). Impuls fazasi modulyatsiyalanganda uning fazasi (boshlang'ich holati) takt chizig'iga kT_i nisbatan oldiga yoki orqaga siljiydi, ya'ni

$$t_k = \theta(t) = kT_i + \Delta\tau_m[u(t)]$$



5.12-rasm. Turli parametrlari modulyatsiyalangan impulslar ketma-ketliklari vaqt diagrammalari

4. **Impulslar chastotasi modulyatsiyasi (IChM)**, bunda impulslar takrorlanish chastotasi modulyatsiyalovchi xabar amplitudasiga mos ravishda $\pm \Delta f_i$ ga o'zgaradi (5.12e-rasm). Impulslar chastotasi modulyatsiyalanganda ularning takrorlanish chastotasi $u(t)$ xabarga mos ravishda kattalashadi va kichiklashadi.

$$f_T = f_i + \Delta f_i [u(t)].$$

IFM va IChM signallarni umumlashtirgan holda vaqt bo'yicha modulyatsiyalangan impuls – impuls vaqt modulyatsiyasi (IVM) deb ataladi.

5. **Impuls kod modulyatsiyasi (IKM)**, bunda birlamchi analog xabar (signal) diskretlash va kvantlash natijasida raqamli kodlangan diskret xabarga aylantiriladi va har bir takt chizig'i vaqt oralig'ida ushbu kodlar kombinatsiyasiga mos keluvchi "1" va "0" elementar signallar ketma-

ketligi shakllantiriladi. Ushbu kodlar ketma-ketligi impulslari yuqori chastotali garmonik tebranish signalining asosiy parametrlaridan birini modulyatsiyalashi natijasida: IKM-AM, IKM-ChM, IKM-NFM signallar shakllantiriladi.

Raqamli aloqa tizimlarida modulyatsiya turlari. Har qanday aloqa tizimida, shu jumladan raqamli aloqa tizimlarida modulyatsiya turini tanlashda quyidagi ikki bir-biriga qarama-qarshi bo‘lgan talabni e‘tiborga olish kerak. Birinchisi, ajratilgan chastotalar diapazonidan samarali foydalanish va ikkinchisi talab darajasidagi shovqinbardoshlikni ta‘minlashdir. Ma‘lumki, bir xil sharoitda signal uzatish sifati uning spektrining kengligiga bog‘liq, ammo ajratilgan chastotalar diapazonida abonentlar sonini oshirish elektromagnit moslashuvchanlikni va polosa birligiga to‘g‘ri keluvchi signal uzatish tezligini oshirish ajratilgan chastotalar diapazonidan samarali foydalanishni taqazo qiladi.

Raqamli radioaloqa tizimlarida odatda signal sifatida bir xil davomiylik τ_0 ga teng bo‘lgan takrorlanuvchi impulslar ketma-ketligidan foydalaniladi, ya‘ni

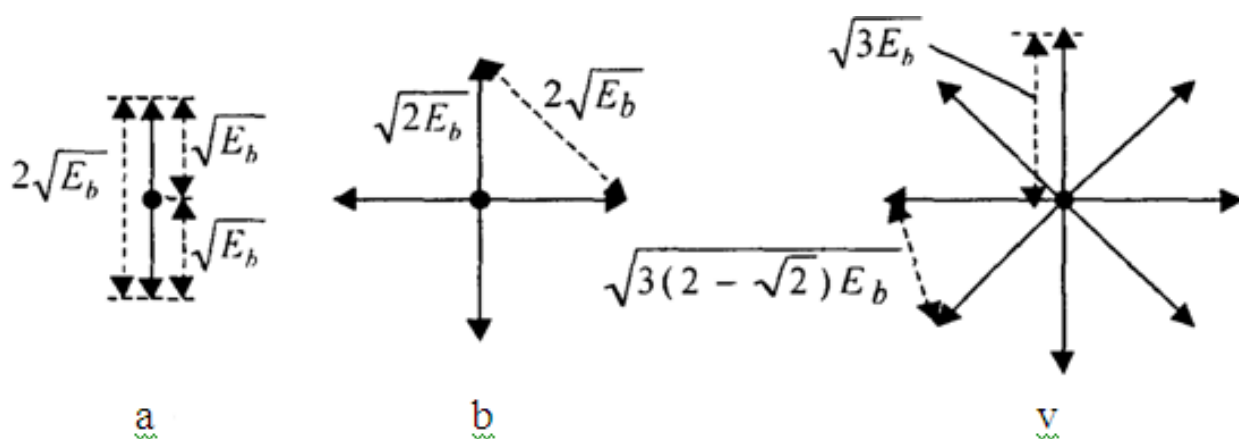
$$S(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} S_0(t - i\tau_0) \cos(2\pi f_0 t + \varphi_i), \quad (5.1)$$

bunda, $s_0(t)$ – impuls o‘rovchisi; φ_i – i -nchi impuls boshlang‘ich fazasi.

Oddiy binar fazasi modulyatsiyalangan (BFM) signal (inglizcha BPSK – binary phase shift keying)) to‘g‘ri to‘rtburchaksimon davomiyligi τ_0 va boshlang‘ich fazasi φ_i impulslar ketma-ketligidan iborat bo‘lib, fazasi faqat ikkita: 0 yoki π qiymatga ega bo‘ladi. Shunday qilib, har bir impuls bitta ikkilik simvolni uzatadi va davomiyligi τ_0 , signal quvvati ma‘lum kattalikka ega bo‘lganda BFM 1 va 0 impulslari fazasi 0 va π ga teng va qarama-qarshi bo‘lgani uchun ularning farqlanish darajasi eng yuqori shovqinbardoshlikni ta‘minlaydi. Ammo bu tur modulyatsiyadan chastotalar spektridan foydalanish samaradorligi juda ham past, chunki (5.1) signalning energetik spektri $G(\omega)$ chastota, impulslar o‘rovchisi to‘g‘ri to‘rtburchak shaklida bo‘lgan holat uchun chastota f ga bog‘liq ravishda juda sekin, $1/f^2$ ga proporsional ravishda kamayadi. Ushbu signalning $\Delta f_{0,99}$ sathdagi kengligi, ya‘ni impuls signal 99% quvvati odatda qabul qilinadigan $\Delta f_{sp} = 1/\tau_0$ ga nisbatan juda katta bo‘ladi, ya‘ni $\Delta f_{0,99} = 18,5/\tau_0$ ga teng bo‘ladi. Shuning uchun ko‘p hollarda raqamli aloqa

tizimlarida, shu jumladan mobil aloqa tizimlarida o‘rovchisi to‘rtburchak shaklidagi impulslardan foydalanilmaydi.

Chastotalar spektridan samarali foydalanish uchun quyidagi usullardan foydalaniladi. Bulardan biri impuls signallar davomiyligi τ_0 ni vaqt birligida uzatiladigan ikkilik impulslar uzatish tezligi R_i avvalgi qiymatini saqlab qolish bo‘lib, bunda agar oddiy BFM usulida bir bit $T_b = \tau_0$ vaqt davomida uzatilganligi uchun $R_i = 1/T_b$ ga teng bo‘ladi. Impuls davomiyligini kattalashtirilganda avvalgi tezlikni saqlab qolish uchun impulslar boshlang‘ich fazalari φ_i ning qabul qilishi mumkin bo‘lgan qiymatlari sonini oshirish kerak. Masalan, impulslar davomiyligi ikki marta kattalashtirilsa, ya‘ni $\tau_0 = 2T_b$ bo‘lsa, u holda τ_0 vaqt davomida ikki bit axborot, ya‘ni turli to‘rtta xabar uzatish kerak bo‘ladi. Bu holda impulslar $0, \pi, \pi/2, -\pi/2$ faza qiymatlariga ega bo‘lishi kerak. Bunday modulyatsiya turi kvadraturali FM – KFM (QPSK – quadrature phase shift keying) deb ataladi. Bunda impuls signal davomiyligi τ_0 dastlabki qiymatiga nisbatan ikki marta kattalashgani uchun energetik spektr shakli saqlangan holda kengligi ikki marta kichik bo‘ladi, ya‘ni chastotalar spektridan foydalanish samaradorligi ikki marta oshadi. Bunda avvalgi shovqinbardoshlik saqlanib qoladi. Buning sababi shundaki, misol uchun agar BFMda impuls energiyasi E_b ga teng bo‘lsin. Bu holda qarama-qarshi impulslar orasidagi yevklid oralig‘i uning shovqinbardoshligini ta‘minlaydi va ularning birini biriga yanglish almashtirish ehtimolligi $2\sqrt{E_b}$ qiymati bilan belgilanadi (5.13a-rasm).



5.13-rasm. FM signalni geometrik shaklda tasvirlash

Kvadraturali FM (KFM)da to‘rt xil xabarga uzunligi $\sqrt{2E_b}$ ga teng bo‘lgan to‘rtta biortogonal vektor mos keladi (5.13b-rasm). Bunda signal quvvati saqlanib qolgan holda impuls energiyasi E_q KFM usulda BFMga qaraganda impuls davomiyligi 2 marta kattalashgani hisobiga $E_q = 2E_b$ bo‘ladi. KFMda qo‘shni vektorlar orasidagi masofa ularni bir-biri bilan almashib qolishiga olib keluvchi masofa dastlabkisidek qiymatga ega bo‘ladi, ya‘ni $\sqrt{2E_q} = 2\sqrt{E_b}$ va natijada BFMdan KFMga o‘tish natijasida shovqinbardoshlik sezilarli yomonlashmaydi.

Xuddi shunga o‘hshash impulslar davomiyligini uch marta oshirib xabar uzatish tezligini saqlab qolinsa, qo‘shni vektorlarning bir-biriga yaqinlashishiga olib keladi. Xabar uzatish tezligini saqlab qolinganda signal davomiyligini uch marta oshirish natijasida impulslar energiyasi BFMga nisbatan uch marta oshadi, natijada vektorlar orasidagi farq 45° ($\pi/4$) ga teng bo‘ladi (5.13v-rasm), ya‘ni yevklid minimal oralig‘i $\sqrt{3(2-\sqrt{2})E_b}$. Shunday qilib, chastotalar polosasidan foydalanish samaradorligini uch marta oshirish signal vektorlari orasidagi masofani kichiklashishiga olib keladi. Dastlabki BFMdagi shovqinbardoshlikni saqlab qolish uchun signallar energiyasini 3 dBga kattalashtirish talab qilinadi. Signal davomiyligini yanada kattalashtirish orqali uning spektri kengligini kichiklashtirish energetik nuqtai nazardan ma‘qul emas, chunki chastotalar polosasidan foydalanish samaradorligining M marta oshishi 2^M ta fazalardan foydalanishga asoslangan FM signaldan foydalanish uning energetik samaradorligining γ marta kamayishiga olib keladi, ya‘ni

$$\gamma = \frac{2}{M \left(1 - \cos \frac{\pi}{2^{M-1}} \right)}.$$

Umuman olganda energetik yo‘qotishlarni signal vektorlari orasidagi eng kichik masofani maksimal qiymatiga erishishni ta‘minlovchi usuldan, ya‘ni FMni bir vaqtning o‘zida amplituda bo‘yicha modulyatsiyalash natijasida signal vektorlari orasidagi masofani kattalashtirish usulidan foydalanishga asoslanadi. Bunday modulyatsiya turlari: amplituda-faza modulyatsiya (AFM) va kvadratura amplituda modulyatsiya (KAM)dan telekommunikatsiya tizimlari (kabel orqali va radiorele aloqasi)da keng foydalaniladi. Ammo fazalari soni 16 va undan katta bo‘lgan AFM va

KAM signallardan mobil aloqa tizimlarida elektr manбайдan foydalanish samaradorligi kichikligi uchun foydalanilmaydi.

Raqamli televideniya foydalaniladigan modulyatsiya turlari. Yer usti raqamli televideniyaning DVB-T standartida hozirda analog televideniya foydalanilayotgan televizion kanallarda va ajratilgan 8 MGs chastotalar polosasida amalga oshiriladi. DVB-T standartida COFDM (COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) o'zbek tilida shovqinbardosh kodlashni qo'llab ko'p ortogonal tashuvchilardan foydalanib kombinatsiyalashgan amplituda-faza modulyatsiyasi deb ta'riflash mumkin.

Ortogonal tashuvchilardan foydalanishga asoslangan kombinatsion amplituda-fazaviy modulyatsiyalangan signalning asosiy xususiyatlarini ko'rib chiqamiz. Kombinatsion amplituda-faza modulyatsiyasidan (KAFM) foydalanishga asosiy sabab, bu radiokanalning xabar o'tkazish imkoniyatini 2^n ga bog'liq ravishda oshirish bo'lib, bunda 2 raqami ikkilik diskret signal (pauza, posilka) uchun ikkilik kanalni, n esa aloqa tizimidagi aloqa kanallari sonini anglatadi. 4-FM aloqa tizimi orqali ikki mustaqil bir-biriga bog'liq bo'lmagan ikkiliklar (pauza va posilka) 2^2 , 8-FMda uchta 2^3 , 16-KAMda to'rtta 2^4 va h.k.larni uzatish mumkin.

Signal vektor holatlari 8 tadan ko'p bo'lgan aloqa tizimlarida KAFM tadbiq etishga asosiy sabablardan biri ularning 16-FM, 64-FM va h.k. ko'p pozitsiyali fazasi modulyatsiyalangan signallarga nisbatan yuqori shovqinbardoshligi hisoblanadi. Shunday qilib, 2^n dagi n ning kattalashishi berilgan polosalar chastotasidagi diskret signallar uzatish tezligi saqlanib qolingan holatda diskret signallar oqimining n ga proporsional oshishiga olib keladi ($n = 0, 2, 3, \dots, 8$) KAFM-256 signaliga $n = 8$ mos keladi.

Ushbu modulyatsiya turidagi tashuvchilarning o'zaro ortogonalligi ikki qo'shni spektrning bir-birining ustiga tushmasligini va ularning bir-biriga ta'sirini eng kichik (minimal) bo'lishini ta'minlaydi. Agar f_k va f_{k+1} tashuvchilar orasidagi farq ishlash oralig'i simvoli T_u ning teskari qiymati $1/T_u$ ga, ya'ni $f_{k+1} - f_k = \Delta f = \frac{1}{T_u}$ etib tanlansa, u holda tashuvchilar o'zaro ortogonal bo'ladilar. Bu ularni bir-biridan farqlash uchun yetarli shart bajarilganligini bildiradi.

Matematika nuqtai nazaridan modulyatsiyalangan signallarning o'zaro ortogonalligi ushbu signallar davomiyligi T_u vaqt oralig'ida ular

spektrlari ko‘paytmasidan olingan integral orqali aniqlanadi. O‘zaro ortogonal signallar uchun ushbu integral nolga teng bo‘lishi shart.

DVB-T standartida COFDM ning ikki turidan foydalanish mumkin, bular 2K va 8K. DVB-Tning 2K turida 1705 ta tashuvchidan, 8K turida esa 6817 ta tashuvchidan foydalaniladi. Bunda multiplekslangan (jamlangan) audio va videosignallar va boshqa qo‘shimcha xizmat turlari signallari mos ravishda 1705 yoki 6817 ta parallel oqim (potok)larga bo‘linadi, shu bilan bir vaqtda simvollar davomiyligi 1705 yoki 6817 ga uzaytiriladi. Bu signal simvollarini uzaytirish natijasida ular orasidagi teleuzatkichlar o‘zaro ta’sir (exo)ni kamaytirish uchun himoya oralig‘ini ajratish imkoniyatini beradi. 2K va 8K turlarida himoya oralig‘i Δt simvol davomiyligi T_u ning 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 qismini, ya’ni himoya oralig‘i Δt simvol davomiyligi T_u ning 3 dan 25% gachasini tashkil etishi mumkin. Himoya oralig‘i Δt ning qiymati, signal tarqalayotgan hudud tekisligi, past-balandligi, undagi qurilgan binolar balandligi va turlari, shu bilan birga teleuzatkichlar orasidagi masofaga bog‘liq. Himoya oralig‘i Δt qancha katta bo‘lsa, teleko‘rsatuv tizimi exolar (aks signallar)dan shuncha yaxshi himoyalangan hisoblanadi.

COFDM ning 2K va 8K turlarida ortogonal tashuvchilar orasidagi farq mos ravishda 1116 va 4464 Gs ni tashkil qiladi. 2K va 8K turdagi modulyatsiyaning har ikkala turidan foydalanilganda ham radiokanalidagi signal spektri kengligi 7,61 MGs ni tashkil etadi. Analog televizion signal uchun ajratilgan chastotalar polosasi 8 MGs da, qo‘shni kanallar chegaraviy chastotalarigacha bo‘lgan himoya chastotalari polosasi 0,39 MGs ga teng bo‘ladi.

Raqamli TV COFDM signalining asosiy ko‘rsatkichlari 5.1-jadvalda keltirilgan.

5.1-jadval.

COFDM signalining asosiy ko‘rsatkichlari

T/R	Asosiy ko‘rsatkichlari	COFDM turi	
		8K	2K
1.	Ishchi vaqt oralig‘i davomiyligi, mks	896	224
2.	Guruh signali spektridagi tashuvchilar soni	6817	1705
3.	Ikki qo‘shni chastotalar oralig‘i, Gs	4464	1116
4.	Guruh signali radiospektri kengligi, MGs	7,61	7,61

5.1-jadval davomi

5.	Himoya oraliq'ı nisbiy davomiyligi	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
6.	Himoya oraliq'ı Δt davomiyligi, mks	222, 112, 56, 28	56, 28, 14, 7
7.	Xabar simvoli T_u davomiyligi, mks	1120, 1008, 952, 924	280, 252, 238, 231
8.	Bir chastotali radiotarmoqda radiouzatkichlar orasidagi masofa, km	67, 34, 17, 8, 4	17, 8, 4, 2

COFDM signalda ko'p sonli tashuvchilardan foydalanish natijasida ularning katta shaharlar va undagi yer rel'efining hamda yer usti raqamli uzatkichlarining bir-biriga ta'sirida yuzaga keladigan signal "ko'p nurli" tarqalish natijasida yuzaga keladigan multiplikativ shovqinlarga bardoshligi keskin oshadi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, COFDM modulyatsiyaning 8K turi 2K turiga nisbatan shovqinbardoshligi yuqori bo'lishiga asosiy sabab 8Kda foydalaniladigan tashuvchilar soni 2Kdagiga qaraganda 4 marotabaga ko'pligidir.

Modem – bu raqamli signalni biror bir ko'rsatkichi bo'yicha (amplitudasi, chastotasi, fazasi) analog signalga aylantirish va teskari amal bajaradigan qurilma. Bu jarayon modulatsiya va demodulatsiya deb ham yuritiladi. "Modem" so'zi modulyatsiya va demodulyatsiya jarayonini amalga oshiruvchi qurilmaning qisqartirilgan nomidir. Ya'ni modulyatsiya so'zidan MO bo'g'inini va demodulyatsiya so'zidan DEM bo'g'inlarini birlashmasi hisoblanadi. Zamonaviy modemlar modulyatsiya va demodulyatsiya vazifalarini bajarishdan tashqari yana juda ko'p qo'shimcha vazifalarni ham bajaradi. Jumladan, bunday qo'shimcha vazifalar sifatida quyidagilarni sanab o'tish mumkin:

- birlik elementlarni to'g'ri qayd qilish;
- axborotni arxivlash, diskret axborotni shovqinbardosh kodlar bilan kodlashtirish;
- sinxronizatsiya qurilmasining vazifasini bajarish va b.

Modemlarni shartli ravishda turkumlash imkoniyatini beruvchi bir qator belgilar mavjud bo'lib ularga quyidagilar kiradi:

- qo'llanish sohasi;

- uzatish usuli;
- tuzilishi bo'yicha;
- qo'llaniladigan protokollari.

Qo'llanish sohasi bo'yicha modemlar bir qator guruhlarga bo'linadi:

- kommutatsiyalanuvchi telefon kanallari uchun;
- ajratilgan (ijara) telefon kanallari uchun;
- qisqa masofalar uchun modemlar;
- uzatishning raqamli tizimlari uchun;
- mobil aloqa tizimlari uchun;
- paketli radiotarmoqlar uchun;
- lokal radiotarmoqlar uchun.

Uzatish usuli bo'yicha modemlar sinxron va asinxronga bo'linadi.

Modem kompyuter bilan asinxron holatda va masofadagi modem bilan sinxron holatda ishlashi mumkin va aksincha. Bu holatda, odatda modem sinxron-asinxron deyiladi, yoki sinxron-asinxron holatda ishlaydi deyiladi.

Modemlar tuzilishi bo'yicha quyidagi turlarga bo'linadilar:

- tashqi modem;
- ichki modem;
- portativ modem;
- guruhli modem.

Tashqi modemlar – kompyuter yoki boshqa terminlarga ulanadigan avtonom qurilma hisoblanadi.



Ichki modem - kompyuterning tegishli joyiga ulanadigan kengaytirish platasidan iborat qurilmadir.



Portativ modem – Notebook turkumiga mansub kompyuterlar bilan jihozlangan mobil foydalanuvchilar uchun mo'ljallangan. Ular kichik o'lchamli bo'lib qimmat narxi bilan ajralib turadi, ularning funksional imkoniyatlari to'liq funksiyali modem imkoniyatidan qolishmaydi.



Guruhli modem – umumiy modemlar jamlanmasiga birlashtirilgan, umumiy oziqlantirish blokiga, boshqarish va akslantirishning umumiy qurilmasiga ega bo‘lgan alohida olingan modemlar birligi hisoblanadi.



Hozirgi vaqtda modemlar kompyuterlar o‘rtasida umumiy foydalanishdagi kommutatsiyalanuvchi telefon tarmog‘i orqali ma’lumotlarni uzatishda qo‘llaniladi.

Ma’lumotlar uzatish tarmoqlarida axborot oqimining o‘shishi yuqori tezlikda ma’lumotlarni raqamli telefon liniyasi orqali uzatish ehtiyojini paydo bo‘lishiga olib keldi. Natijada, sifati nisbatan past bo‘lgan ikki juftli mis simli telefon liniyasi orqali yuqori tezlikda axborotni uzatish imkonini beruvchi xDSL texnologiyasi bo‘yicha ishlaydigan modemlar paydo bo‘ldi.

DSL (Digital Subscriber Line - raqamli abonent liniya). DSL 5,4 km masofagacha ishlab turgan telefon mis simlari yordamida turli usullarda ma’lumotlarni uzatish uchun mo‘ljallangan. x- belgisi o‘rnida hal qiluvchi ko‘rsatkichlar, masalan A, H, S, V va boshqalar bo‘lishi mumkin. xDSL texnologiyasi bo‘yicha ishlaydigan modemlarning turlariga qarab foydalanuvchilar 32 Kbit/s dan 50 Mbit/s gacha bo‘lgan tezliklarda o‘zaro axborot almashinish imkoniyatiga ega. xDSL texnologiyasi tashkilot yoki foydalanuvchilarga Internetdan foydalanishlari uchun, interaktiv TV, so‘rov bo‘yicha video, masofaviy o‘qitish kabi xizmatlarni yuqori tezliklarda tashkillashtirish imkonini beradi.

xDSL texnologiyasi bo‘yicha ishlaydigan modemlarning qo‘yidagi bir qator turlari mavjud:

– ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line asimmetrik raqamli abonent liniyasi). Bu texnologiya asimmetrik hisoblanib, foydalanuvchining tarmoqqa ulanish tezligiga nisbatan, tarmoqdan ma’lumotlarni qabul qilib olish tezligi yuqori. Ushbu texnologiya bo‘yicha

ishlaydigan modemlar 5,5 km masofaga 1,54 Mbit/s tezlikda ma'lumotlarni uzata olish imkoniyatiga ega;

– *NDSL* (yuqori tezlikli raqamli abonent liniyasi). Bu texnologiya ma'lumotlarni uzatishda simmetrik liniya asosida ko'rib chiqildi, ya'ni tarmoq orqali foydalanuvchiga va tarmoqdan foydalanuvchiga ma'lumotlarni uzatish tezligi tengdir. *NDSL* texnologiyasi 3,5 – 4,5 km gacha ma'lumotlarni uzatishi mumkin;

– *SDSL* (bir liniyali raqamli abonent liniyasi) bu texnologiya ham *NDSL* texnologiyaga o'hshab ma'lumotlarni simmetrik uzatish imkoniyatiga ega. *SDSL* texnologiyasi boshqa texnologiyalardan ikkita xususiyati bilan farq qiladi: birinchisi bir juftlik o'ralgan simlardan foydalaniladi. Ikkinchisi maksimal ma'lumotlarni uzatish oralig'i 3 km gacha. Bu oraliqlarda videokonferensiya tizimini ishlashini, ikkita yo'nalishda ham ma'lumotlar oqimini kerak paytda qo'llaydi;

– *VDSL* (o'ta yuqori tezlikli raqamli abonent liniyasi). Bu texnologiya *xDSL* texnologiyasiga qaraganda tez (yuqori) hisoblanadi. *VDSL* texnologiyasi bir juft o'ralgan telefon simlaridan chiqishdagi ma'lumotlarni uzatish oqimi chegarasi 13 dan 52 Mbit/s gacha, kirishdagi ma'lumotlarni uzatish oqimi chegarasi 1,5 dan 2,3 Mbit/s gacha uzatishi mumkin. Lekin, bu texnologiyani maksimal uzatish oralig'i 300 metrdan 1300 metrgacha bo'ladi. *VDSL* texnologiyani *ADSL* dan farqi video uchun so'rovni va yuqori chastotali TV signallarini uzatishni ta'minlaydi.

1948 yilda K. Shennon kanallarning o'tkazish polosasi kengligi orasidagi munosabatni gerslarda va uzatish tezligini Bit/s kabi nisbatda o'rnatgan.

Maksimal ruxsat etilgan qaysidir muhitdagi ma'lumot uzatish tezligini aniqlaydigin asosiy faktorlardan biri uning o'tkazish polosasi hisoblanadi.

Signal/shovqin munosabati ikkinchi faktor hisoblanadi (Naykvist – Shennon qonuniyatiga asosan):

$$C = \Delta F \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_{sh}} \right) \text{bit} / s$$

Bu yerda ΔF – o'tkazish polosasi kengligi (Gs),

R_s – signalning quvvati (VT),

R_{sh} – shovqinning quvvati (VT).

Signallarning tarqalish muhiti xususiyati maksimal ruxsat etilgan ma'lumot uzatish tezligini aniqlaydi. Misol uchun, ovoz chastotasi kanali uchun o'tkazish polosasi 4 kGs ni tashkil etadi, shunda signal/shovqin 48 dB nisbatida 64 Kbit/s da ma'lumotni uzatish nazariy imkoniyatini beradi.

2 MGs o'tkazish polosali vitali mis juftlik uchun, 48 dB nisbatidagi signal/shovqinda maksimal tezlik 32 Mbit/s ni tashkil etadi. XTI ma'lumot uzatish protokollari 5.2-jadvalda keltirilgan

5.2-jadval

XTI ma'lumot uzatish protokollari

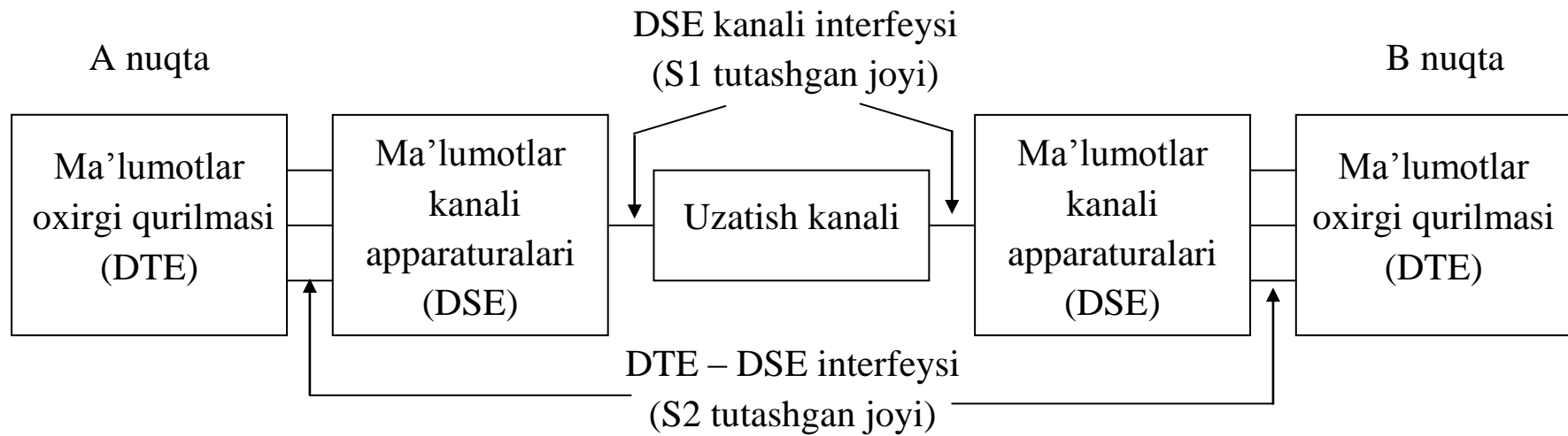
Standart	Tasdiqlangan yili	Maksimal tezligi, bit/s	Dupleks/yarimdupleks	Kommutatsiyalangan/ajratilgan	Modulyatsiya turi
V.21	1964/1984	200/300	FDX(FDM)	PSTN	FSK
V.22	1980/1988	1200	FDX(FDM)	PSTN	DPSK
V.22 bis	1984/1988	2400	FDX(FDM)	PSTN	QAM
V.23	1964/1988	1200	HDX	PSTN	FSK
V.26	1968/1984	2400	HDX	Private	DPSK
V.26 bis	1972/1984	2400	HDX	PSTN	DPSK
V.26 ter	1984/1988	2400	FDX(EC)	PSTN	DPSK
V.27	1972/1984	4800	HDX	Private	DPSK
V.27 bis	1976/1984	4800	HDX	Private	DPSK
V.27 ter	1976/1984	4800	HDX	PSTN	DPSK
V.29	1976/1988	9600	HDX	Private	QAM
V.32	1984/1988	9600	FDX(EC)	PSTN	QAM/TCM
V.33	1985/1988	14400	FDX	Private	TCM
V.17	1991	14400	FDX(EC)	PSTN	TCM
V.32 bis	1991	14400	FDX(EC)	PSTN	TCM
V.34	1996	33600	FDX	PSTN	QAM
V.90	1998	56700/33600	FDX	PSTN	PCM/QAM
V.92	2000	56700/48000	FDX	PSTN	PCM

Standartlash bo'yicha tashkilotlar umum qabul qilingan modemlar abreviaturalaridan foydalanadi (5.14-rasm):

- DTE (Data Terminal Equipment)- Oxirgi ma'lumotlar qurilmasi;
- DCE (Data Communication Equipment)- modemi bildirishga xizmat qiluvchi ma'lumotlar kanali qurilmasi.

Telefon kanallari uchun modemlarda uchta turdagi modulyatsiyadan foydalaniladi: chastotali, nisbiy fazali va ko‘pincha ko‘p pozitsiyali amplituda-fazali deb nomlanuvchi kvadratura-amplitudali modulyatsiyadan foydalaniladi.

Chastotali modulyatsiyada "0" va "1" axborot ketma-ketligi qiymati uchun o‘zgarmagan amplitudalarda belgilangan signal chastotalari mos keladi. Chastotali modulyatsiya nihoyatda shovqinbardosh. Biroq chastotali modulyatsiyada telefon kanali chastotali polosasi resursi tejab sarf etilmaydi.



5.14-rasm. Ma'lumot uzatish tizimini na'munali tuzilishi: a) ma'lumot uzatish tizimi blok sxemasi; b) ma'lumot uzatish tizimini mavjud sxemasi

Shuning uchun bu modulyatsiya ko‘rinishi kichik nisbatdagi signal/shovqin munosabatga ega kanaldagi aloqani amalga oshirishga yo‘l qo‘yuvchi past tezlikdagi protokollarda foydalaniladi.

Nisbiy fazali modulyatsiyada (NFM, DPSK – Differential Phase Shift Keying) axborot elementi qiymatiga qarab o‘zgarmagan amplituda, chastotada faqat signalning fazasi o‘zgaradi va har bir axborot biti uchun mos ravishda absolyut faza qiymati emas, balki oldingi qiymatga nisbatan uning o‘zgarishi qo‘yiladi. Odatda har biri ikki bit chiquvchi ikkilik ketma-ketlik axborotiga ega bo‘lgan to‘rtta signalni uzatishga asoslangan to‘rt fazali NFM (NFM-4) yoki ikki karrali NFM (INFM) qo‘llaniladi. Yuqori tezlikdagi ma’lumotni uzatish uchun NFM qo‘llanilmaydi.

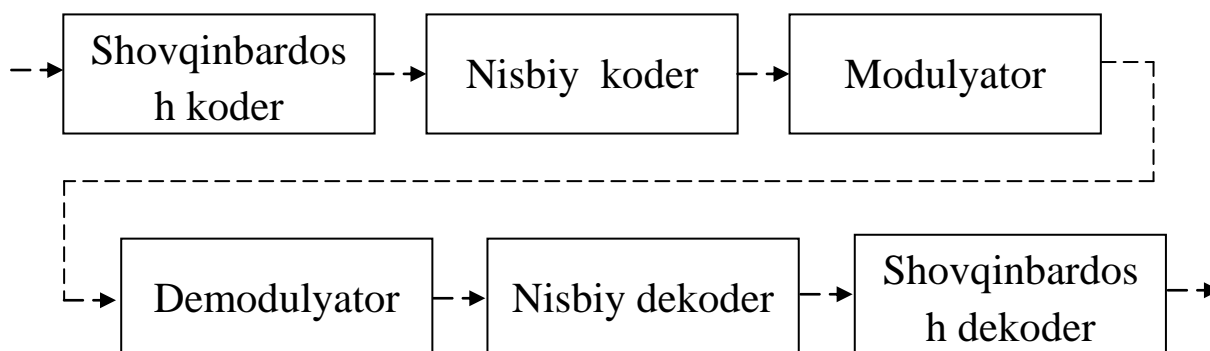
Kvadratura-amplituda modulyatsiyada (KAM, QAM – Quadrature Amplitude Modulation) kodlangan bitlar sonini oshirishga yo‘l qo‘yuvchi signalning fazasi, hamda amplitudasi o‘zgaradi, bunda shovqinbardoshligi ham sezilarli darajada oshadi. Hozirgi vaqtda 8...9 ni tashkil etishi mumkin bo‘lgan axborot bitlari soni bitta bodli intervalda ko‘llanuvchi, lekin signal fazosida signal pozitsiyalari soni 256...512 ni tashkil etuvchi modulyatsiya usullari qo‘llaniladi.

Trellis-modulyatsiyasi. Zamonaviy yuqori tezlikdagi protokollarda KAM panjarali kodlash bilan birga foydalaniladi. Natijada trellis-modulyatsiya (*TSM – Trellis Coded Modulation*) deb nomlanuvchi modulyatsiyaning yangi usuli paydo bo‘ldi. Belgilangan ravishda tanlangan aniq KAMning kombinatsiyasi va shovqinbardosh kodida signal-kodli konstruktsiya (SKK) nomini olib yuradi. SKK signal/shovqin nisbatini 3 – 6 dB ga talabni tushirgan holda, axborot uzatish shovqin himoyasini kanalda oshirib bera oladi. Bunda signalli nuqtalar soni axborot bitlariga yana, O‘K yo‘li bilan hosil bo‘lgan bitta ortiqcha bit qo‘shilishi hisobiga ikki martaga oshadi. Bu usul bilan kengaygan bitlar bloki KAM ga duchor bo‘ladi. Demodulyatsiya protsessida Viterbi algoritmi bo‘yicha kelgan signalni dekodlash amalga oshadi.

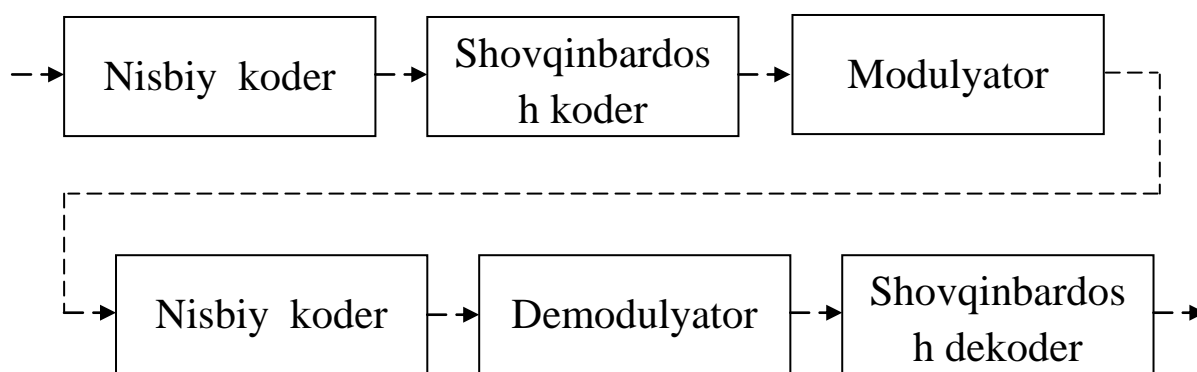
Kirishdagi har ikki axborot biti uchun koder FM-8 modulyatoriga kelib tushuvchi o‘z chiqishida uch simvollik ikkilik bloklarini joylaydi.

Ichki va tashqi nisbiy kodlash mavjud. Ichki kodlashda nisbiy koder shovqinbardosh koderning chiqishida joylashgan va qabul qilish tomonida nisbiy dekoder shovqinbardosh dekoderning kirishida yoqilgan (5.15.a - rasm). Bu holatda shovqinbardosh koder guruhlanuvchi xatolar bilan kurasha olishi kerak.

Tashqi nisbiy kodlash holatlar qatorida manfaatli hisoblanadi, chunki xatolar ko‘payishi manbaasi – nisbiy dekoder – shovqinbardosh dekoderning chiqishida o‘rnatilgan (5.15 b-rasm).



a)



b)

5.15-rasm. Nisbiy koderning ichki (a) va tashqi (b) yoqilish sxemasi

xDSL keng polosali ulanish. DSL texnologiyasi oxirgi foydalanuvchilarga yuqori tezlikdagi axborot potoklarini yetkazib berish muammosini yechuvchi keng tarqalgan texnologiyalardan biridir.

Yuqori tezlikdagi ma‘lumotlarni uzatish texnologiyasining yetarli miqdori mavjud bo‘lib, umumiy nom xDSL ostida umumlashtirilgan (Digital Subscriber Line yoki raqamli abonent liniyasi), bu yerda x - DSL yuqori tezlikdagi raqamli abonent liniyasi aniq turini aks ettiradi).

DSL variantlari, tezliklari, fizik muhitdan foydalanish usuli va imkoniyat diapazoni orqali farqlanadi.

xDSL texnologiyasida chastotadan foydalanuvchi polosa megagers diapazonga qadar kengaytirilgan. Chastota polosasidan effektiv foydalanishga 2B1Q, SAR va DMT modulyatsiya usullarini qo‘llash orqali erishiladi.

xDSL umumlashtirilgan nom aniq texnologiyalarning katta sonini o‘z ichiga oladi: DSL, HDSL, SDSL, ADSL, VDSL, G.Lite.

Ushbu texnologiyada ishlashi mumkin bo'lgan apparaturaning tipik maksimal uzunligi 7,5 kmni tashkil etadi.

ADSL ning asosiy ustunligi shundan iboratki, uning uchun mavjud telefon kabelidan foydalaniladi.

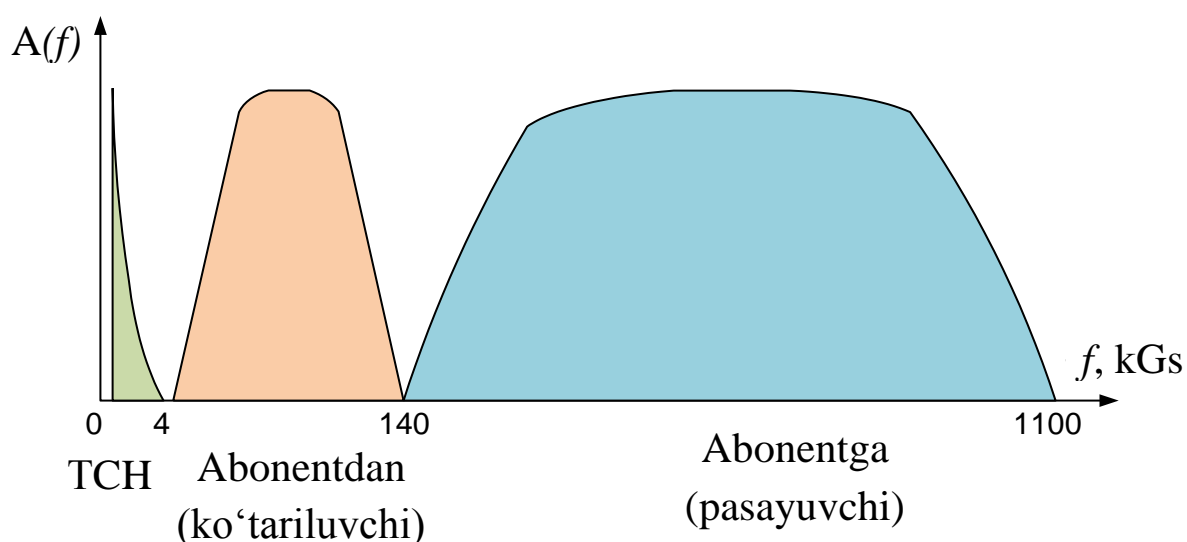
Harakatdagi telefon liniyalar ohirida chastotali bo'luvchilar o'rnatiladi (ingliz variantida – splitterlar) – bitta ATS da va bitta abonentda.

Splitterning vazifasi turli chastota diapazonida signallarni yetkazishdan iborat. Bunda telefon apparatga 4 kGs chastotagacha va modemga qolganlari yo'naltiriladi.

Chastotali bo'luvchi elektron qurilmadir, tarkibida yuqori chastota va past chastota filtrlariga ega. Splitterning asosiy vazifasi ovoz kanalini ajratish va modemni telefon qurilmasi hosil qiluvchi shovqindan himoyalashdan iborat.

Abonent bo'luvchiga oddiy analog telefon va ADSL modem ulanadi. Bunda modemning ishlashi telefon aloqasidan foydalanishga umuman xalaqit bermaydi. ADSL liniyasi telefon kabelining o'ram juftligi oxirlariga ulangan ikkita ADSL modemni bog'laydi.

Bunda uchta axborot kanali tashkil etiladi - «pasayuvchi " ma'lumot uzatish oqimi, «ko'tariluvchi" ma'lumot uzatish oqimi va oddiy telefon aloqa kanali. 5.16-rasmda ADSL chastota polosasi taqsimoti keltirilgan.



5.16-rasm. ADSL chastota polosasi taqsimoti

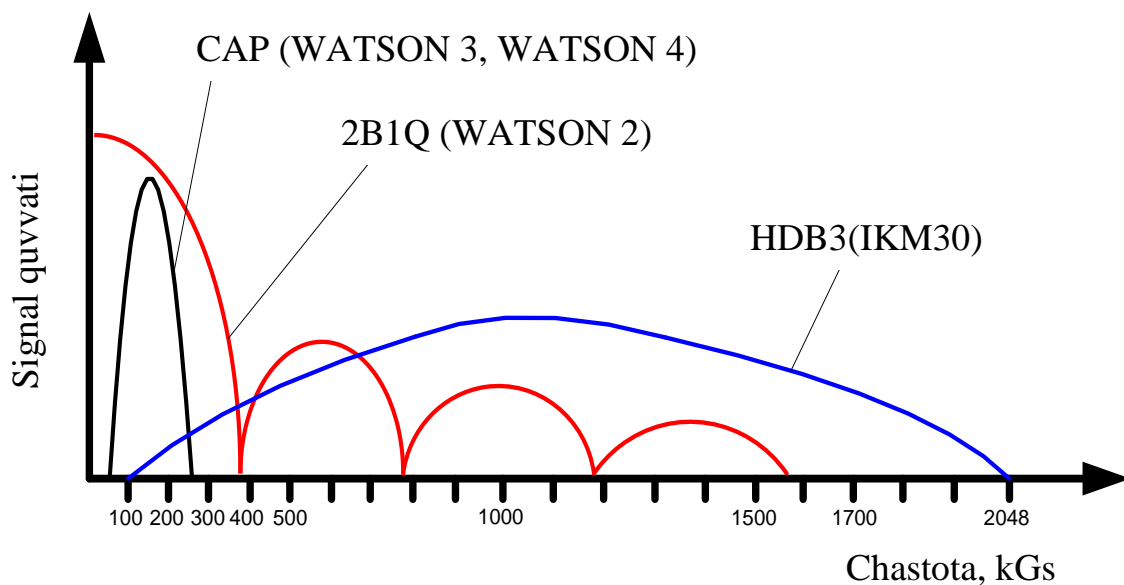
Abonent so'rov yuborganligi sababli, abonentdan o'tkazish polosasi tordir.

Shu vaqtda abonentga kengroq o'tkazish polosasi zarur, chunki saxifalarni yuklash yetarlicha katta hajmdagi axborotni hisobga oladi.

xDSL qurilmasining asosini mis kabeli orqali uzatish uchun raqamli oqimning modulyatsiya usuli tashkil etadi. xDSL texnologiyasi bir nechta chiziqli kodlash texnologiyalaridan foydalanishni koʻzda tutadi - 2B1Q (2 binary, 1 quartenary), CAP (Carrierless Amplitude and Phase Modulation), DMT (Discrete Multi-tone) va TC-PAM. Barcha texnologiyalar uzatilgan va qabul qilingan signallarni signalli protsessor orqali raqamli qayta ishlashga asoslangan va umumiy prinsiplar qatoriga ega. xDSL tizimini har bir liniya parametri boʻyicha sozlash avtomatik tarzda amalga oshadi. Qurilma har bir kabel parametri boʻyicha dinamik adaptatsiyalanadi, shuning uchun uni oʻrnatish yoki u joydan bu joyga qurilmani koʻchirishda qoʻlda bajariladigan sozlash yoki regulirovkalash talab etilmaydi.

CAP texnologiyasi. Katta uzunlikdagi abonent va bogʻlovchi liniyalar mavjud davlatlarda va pastroq sifatdagi kabellar uchun katta talab bilan CAP (Carrierless Amplitude and Phase Modulation) — tashuvchini uzatishsiz amplituda-fazali modulyatsiya texnologiyasiga asoslangan HDSL tizimidan foydalaniladi. Texnologiyani ishlab chiqaruvchisi - Globe Span kompaniyasi — koʻp tashqi xalaqitlarga taʼsirchan boʻlmagan chiziqli kodlash uchun tor polosali texnologiyani yaratishni oʻzi uchun maqsad qilib olgan.

SAR modulyatsiyasi afzalliklarini ilustratsiyasi uchun 5.17-rasmda HDB3 kodi bilan signal spektrlari keltirilgan, 2B1Q va SAR.



5.17-rasm. HDB3, 2B1Q, CAP signallar spektrlari

Spektrlarning qiyosiy taxlilidan SAR modulyatsiyasiga asoslangan HDSL tizimining afzalliklari ko‘rinib turipti.

DMT Texnologiyasi. Oxirgi vaqtlarda ko‘pincha DMT (Discrete Multi Tone) modulyatsiyasi qo‘llanilyapti. U standartizatsiya bo‘yicha Amerika milliy instituti standartlarida ANSI T'1.413 i ITU-T G.922.2 tavsiflangan. Agar SAR modulyatsiyada bitta tashuvchi chastotadan foydalanilsa, unda DMT da birdaniga 4 kGs qadamdagi 256 ta tashuvchi shakllanadi.

TS-PAM texnologiyasi (TS-RAM Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation - trellis kodlashga ega impulsli amplituda-faza modulyatsiyasi). Ushbu kodirovka usulining mohiyati darajalar (kodli holatlar) sonini 4 dan (2V1Q dagi kabi) 16ga oshirish va maxsus xatolar korreksiyasi mexanizmini qo‘llashdan iborat.

Energetik spektrlarni qiyoslash (PSD — Power Spectral-Density) shuni ko‘rsatadiki, G.shdsl qurilmasini bitta kabelda joylash misol uchun, ADSL tizimida, TS-RAM kod orqali chaqirilgan to‘g‘rilashlar, 2V1Q holatiga nisbatan kamroq bo‘ladi. Aniqroq kamayyotgan oqim (tarmoqdan abonentga) to‘rilash umuman bo‘lmaydi, yuqorilaydigan oqimda (abonentdan tarmoqqa) esa to‘g‘rilashlar ahamiyatsiz bo‘ladi. SAR da esa, undagi to‘g‘rilashlar DSL-texnologiyasini boshqa qo‘shni juftliklarda (SARda emas) qo‘llashni amaliy imkonsiz qilib qo‘yadi.

Optik tolali tarmoqlar uchun modemlar. Bu tizimlar boshidan keng polosali bo‘lganliklari uchun ma‘lumotlar uzatish texnologiyasi shunday hisob-kitob ishlab chiqilganki, mavjud tarmoqlarni yuqori tezlikda ma‘lumot uzatish uchun o‘tkazish polosasidan foydalanishga yo‘l qo‘yadi, asosan Internet foydalanuvchilariga ulanishni tashkil etadi.

Optik tolali kabeldan abonent foydalanish tuguniga ulanish, yuqori tezlikdagi Internetga ulanish zarur bo‘lgan potensial foydalanuvchilar soni kabelning o‘tkazish polosasi butunlay to‘lganligida foydalanish manfaatlidir, yoki qachonki, elektrik shovqinlarga bardoshlilik va ma‘lumotlarni ishonchli himoyasi talab etilganda. Abonent maydonida ma‘lumot uzatuvchi tugallangan qurilmalar sifatida optik tolali modemlar, optik va elektrik signalni qayta o‘zgartiruvchi mediakonvertorlardan foydalaniladi.

Optik tolali liniya uchun o‘tkazish polosasi tola ishlab chiqarish texnologiyasi, materialning sifati, ishlash rejimi (bir modali, ko‘p modali), kirituvchi va uzatuvchi qurilmalarda aniqlanadi.

Ko‘p modali rejimda optik tolaning o‘tkazish polosasi yuzlab MGs dan 500 MGs gacha yetib boradi.

Bir modali rejim uchun oʻtkazish polosasi koʻp modaliga nisbatan ikki marta kengroq.

Zamonaviy modem qurilmasining koʻrsatkichlarini hisoblash.
Modemlarda uch xil turdagi koʻrsatkichlar mavjud:

- texnik vazifa sifatida beriluvchi koʻrsatkichlar;
- standartga mos keluvchi koʻrsatkichlar;
- hisoblashi zarur boʻlgan koʻrsatkichlar.

Misol. Axborot xajmi, axborotni uzatish vaqti, aloqa kanalining turi, kanalning qoldiq soʻnishi, fluktuatsion xalaqit kuchlanishining effektiv qiymati berilgan:

- axborot xajmi: $I_n = 760$ kbit;
- axborotni uzatish vaqti: $T_s = 3$ min;
- aloqa kanalining turi: TCh kanal;
- kanalning qoldiq soʻnishi: $a_{qol} = 10$ dB;
- fluktuatsion xalaqit kuchlanishining 3,1 kGs oraliqdagi effektiv

qiymati: $I_{xef} = 1,2$ mv.

Topish kerak:

1. Axborotni uzatish tezligini?
2. Birluk elementlarning uzunligini?
3. Talab etilgan oʻtkazish oraligʻi kengligini?
4. Birluk elementlarni xato qabul qilish ehtimolligi boʻlsa qoʻyidagi koʻrsatkichlarni hisoblang?

1. Axborotni uzatish tezligi

$$V = (I_n + I_b) / T_c$$

Bu yerda I_n – axborot xajmi, I_b - yordamchi belgilar soni boʻlib u qoʻyidagicha aniqlanadi: $I_b = I_n(5-10\%)$.

$I_b = I_n(8\%)$ ga teng deb olib axborotni uzatish tezligini hisoblaymiz.

$$V = 1,08 * I_n / T_s$$

$$V = 1,08 * 760 / 360 = 4560 \text{ bit/s}$$

Tezliklar qatoridan $V = 4800$ bit/s standart tezligini tanlaymiz.

V.27 va V.27 bis tavsiyasiga muvofiq ishlaydigan modemlarni tanlaymiz, chunki ushbu tavsiyaga muvofiq ishlaydigan modemlarda axborotni uzatishning maksimal tezligi 4800 bit/s.

2. Birluk elementlarning uzunligini

$$\tau_o = \frac{1}{B}$$

bu yerda V – modulyatsiya tezligi. V.27 bis tavsiyasiga muvofiq ishlaydigan modemlarda modulyatsiya tezligining qiymati 1600 Bodga teng.

$$\tau = \frac{1}{B} = \frac{1}{1600} = 625 \text{ mks.}$$

4. Talab etilgan o‘tkazish oralig‘i kengligini hisoblash:

$$F_{o'o} = 1,42 * B, \text{ Gs}$$

$$F_{o'o} = 1,42 * 1600 = 2272 \text{ Gs} \approx 2300 \text{ Gs}$$

4. Modulyatsiya tezligi va kanal turi asosida modemning birlik elementlarni xato qabul qilish ehtimolligi:

P_o - uzatish usuliga bog‘liq. Filtr elementlar parametrlari vaqt va harorat nostabilligini nazarda tutgan holda, birlik elementlarni xato qabul qilish ehtimolligini elementlar bo‘yicha xatolik koeffitsientidan yuqori bo‘lmasligi lozim, ya’ni uchkarrali nisbiy faza modulyatsiya ($V=4800$ bit.s) bilan diskret kanal standartiga muvofiq $1 * 10^{-4}$ ga teng.

Modemning qabul qilish qismi kirishidagi minimal ruxsat etilgan signal darajasi:

$$P_o = 0,67 (1 - \tau (q * \sqrt{0,29})) \text{ [Kramp jadvali]}$$

Shu jadvaldan $R = 1 * 10^{-4}$ bo‘lganda:

$$1 * 10^{-4} = 0,67 (1 - \tau (q * \sqrt{0,29}))$$

$$\varphi (q * \sqrt{0,29}) = 0,9998 \text{ B}$$

Kramp funksiyasi qiymatlar jadvalidan $q=7,06$ topamiz.

5. Polosali filtr chiqishidagi xalaqitning effektiv qiymati:

$$I_{xefchiq} = \sqrt{\frac{I_{xef}^2 * \Delta F_{o'o}}{\Delta F_{\kappa}}}$$

Bu yerda $I_{xefchiq}$ - 3,1 KGs oraliqda fluktatsion xalaqit kuchlanishi effektiv qiymati.

Qabul polosali filtri chiqishidagi xalaqit effektiv kuchlanishni topamiz:

$$I_{x\text{efchiq}} = \sqrt{\frac{I_{x\text{ef}}^2 * \Delta F_{o'o}}{\Delta F_{\kappa}}} = \sqrt{\frac{1,2^2 * 2300}{3100}} = 1,03 \text{ mV}$$

6. Kanal chiqishidagi signal effektiv kuchlanishining minimal qiymati (qabullagich kirishida):

$$I_{sef} \geq q * I_{x\text{efchiq}}, \text{ mV}$$

$$I_{sef} = 7,06 * 1,03 = 7,42 \text{ mV}$$

7. Kanal chiqishidagi signalning minimal ruxsat etilgan darajasi:

$$R_{s\text{chiq}} = 20 \lg \left(\frac{I_{sef}}{775} \right), \text{ dB}$$

$$R_{s\text{chiq}} = 10 \lg \left(\frac{I_{sef}}{775} \right) = 20 \lg \left(\frac{7,42}{775} \right) = -40,4 \text{ dB}$$

8. Kanal kirishidagi (uzatkich chiqishdagi) signalning minimal darajasi:

$$R_{skir} = R_{s\text{chiq}} + A_{qol} \text{ dB.}$$

Bu yerda A_{qol} - qoldiq soʻnish.

Kanal soʻnishini nazarda tutgan holda uzatkich chiqishidagi signalning minimal darajasi:

$$R_{skir} \geq -40 + 10 = -30,4 \text{ dB.}$$

Shunday qilib, $R_{skir} < R_{s\text{chiq}}$ sharti bajarildi.

Nazorat savollari:

1. Diskret modulyatsiya deb qanday modulyatsiyaga aytiladi?
2. Amplitudasi, chastotasi va fazasi 110010 ketma-ketligi bilan manipulyatsiyalangan signallar vaqt diagrammalarini chizing?
3. Nisbiy FM signali oddiy FM signaldan qanday farqlanadi va shakllantiriladi?
4. Analog signallarni raqamligga oʻzgartirish jarayonini vaqt diagrammalari yordamida tushuntiring?

5. Raqamli mobil aloqa va televideniada foydalaniladigan modulyatsiya turlarini sanab o‘ting va ularni bir-biri bilan taqqoslang?
6. Raqamli televideniada foydalaniladigan COFDM signal haqida ma’lumot bering va 2K, 8K turlarini o‘zaro taqqoslang?
7. Modem bajaradigan vazifasi nimadan iborat?
8. Qo‘llanish sohasi bo‘yicha modemlar qanday guruhlarga bo‘linadi?
9. Modemlar tuzilishi bo‘yicha qanday turlarga bo‘linadi?
10. DSL - raqamli abonent liniyalarining qanday turlari mavjud?

ATAMALAR VA TA'RIFLAR RO'YHATI

<p>Аппаратура обработки данных Ma'lumotlarni qayta ishlash apparaturasi</p>	<p>Устройство, находящееся в интерфейсе «Пользователь-Сеть» со стороны пользователя и обслуживающее источник данных и/или получателя. DTE-устройство подключается к сети передачи данных через DCE-устройство (например, модем) и обычно использует тактовые сигналы, генерируемые DCE-устройством. К DTE-устройствам относятся компьютеры, маршрутизаторы и мультиплексоры.</p> <p>Foydalanuvchi tomonidan «Foydalanuvchi-Tarmoq» interfeysida joylashgan va ma'lumotlar manbaiga va/yoki qabul qiluvchiga xizmat ko'rsatuvchi qurilma. DTE-qurilmasi ma'lumotlar uzatish tarmog'iga DCE-qurilmasi (masalan, modem) orqali ulanadi va DCE-qurilmasida generatsiyalanadigan taktli signallardan foydalanadi. DTE-qurilmalariga kompyuterlar, marshrutizatorlar va multipleksorlar kiradi.</p>
<p>Аппаратура передачи данных Ma'lumotlar uzatish apparaturasi</p>	<p>1. Оконечное оборудование канала передачи данных. Включает устройства и соединения коммуникационной сети, находящиеся со стороны сети интерфейса «Пользователь-Сеть». DCE-устройства обеспечивают физическое подсоединение к сети, пропуск через себя трафика и выдачу тактовых сигналов, используемых для синхронизации и передачи данных между устройствами DCE и DTE. Примером DCE-устройства является модем.</p> <p>2. Аппаратура (или аппаратно-программные средства), которая входит</p>

в состав сети передачи данных (или дополняет неспециализированную сеть телекоммуникаций) и обеспечивает согласование с окончанием оборудования данных, передаваемых и принимаемых сигналов данных.

Примечание – АПД может состоять из устройств: преобразования сигнала, защиты от ошибок, автоматического вызова и ответа, детектора качества сигнала, корректора и связанных с ними вспомогательных устройств (контрольно-измерительных устройств).

1. Ma'lumotlar uzatish kanali chetki uskunasining aynan o'zi. «Foydalanuvchi-Tarmoq» interfeysi tarmog'i tomonidan kommunikatsiya tarmog'i qurilmasi va ulanishni o'z ichiga oladi. DCE – qurilmasi tarmoqqa fizik ulanishni, DCE va DTE qurilmalari o'rtasida ma'lumotlarni sinxronlash va uzatishda ishlatiladigan taktli signallarni berish va o'zidan trafikni o'tkazishni ta'minlaydi. DCE – qurilmasiga modem misol bo'ladi.

2. Ma'lumotlar uzatish tarmog'i tarkibiga kiradigan (yoki telekommunikatsiyalarning ixtisoslashtirilmagan tarmog'ini to'ldiradigan) va uzatiladigan hamda qabul qilinadigan ma'lumot-lar signallarini ma'lumotlar chetki uskunasini bilan moslashishini ta'minlaydigan apparatura (yoki apparat-dasturiy vositalar).

Izoh – MUA signalni o'zgartirish, xatolardan himoyalash, avtomatik chaqiruv va javob, signal sifatining detektori, korrektor va ular bilan bog'liq bo'lgan yordamchi qurilmalar, masalan, nazorat-o'lchash qurilmalaridan iborat bo'lishi

	mumkin.
Аппаратура передачи данных аналоговая Ma'lumotlar uzatish analog apparaturasi	<p>Аппаратура передачи данных, у которой устройства преобразования и защиты сигнала данных от ошибок являются аналоговыми устройствами.</p> <p>Ma'lumotlar signalini o'zgartirish va xatolardan himoyalash qurilmasi analog qurilmalari bo'lib hisoblanadigan ma'lumotlar uzatish apparaturasi.</p>
Аппаратура передачи данных групповая Ma'lumotlar uzatish guruhli apparaturasi	<p>Аппаратура передачи данных для работы по нескольким каналам передачи данных.</p> <p>Bir nechta ma'lumotlar uzatish kanallari bilan ishlaydigan ma'lumotlar uzatish apparaturasi.</p>
Аппаратура передачи данных цифровая Ma'lumotlar uzatish raqamli apparaturasi	<p>Аппаратура передачи данных, у которой устройства преобразования и защиты сигнала данных от ошибок являются цифровыми устройствами.</p> <p>Ma'lumotlar signalini o'zgartirish va xatolardan himoyalash qurilmasi raqamli qurilmalar bo'lib hisoblanadigan ma'lumotlar uzatish apparaturasi.</p>
Асинхронное временное мультиплексирование Vaqt bo'yicha asinxron multipleksorlash	<p>Способ мультиплексирования, при котором используемый ресурс средств передачи представляет собой последовательность не назначаемых заранее временных интервалов, заполняемых ячейками информации с учетом фактической потребности в данный момент каждого пользователя.</p> <p>Uzatish vositalarining foydalaniladigan resursi har bir foydalanuvchining shu vaqtdagi haqiqiy ehtiyojlarini hisobga olgan holda, axborotning yacheykalari bilan to'ldiriladigan vaqt bo'yicha intervallardan oldin belgilanmaydigan ketma-ketlikdan iborat bo'lgan multipleksorlash usuli.</p>
Асинхронный режим	Коммуникационный режим

<p>ОТКЛИКОВ Asinxron javoblar rejimi</p>	<p>протокола HDLC между одной первичной и, как минимум, одной вторичной станциями, при котором первичная или любая из вторичных станций может инициировать передачу.</p> <p>Bitta dastlabki va bitta ikkilamchi stansiya (bunda dastlabki yoki ikkilamchi stansiyalardan birortasi uzatishni boshlashi mumkin) oʻrtasidagi HDLC protokolinig kommunikatsion rejimi.</p>
<p>Асинхронный режим передачи Asinxron uzatish rejimi</p>	<p>1. Стандартизованная ITU технология коммутации пакетов фиксированной длины – ячеек или пакетов фиксированного размера (53 bait), из которых 5 bait используется под заголовок, а 48 bait – под рабочую нагрузку.</p> <p>2. Высокоскоростная технология передачи данных с установлением соединения, в которой используются ячейки фиксированного размера вместо пакетов переменной длины.</p> <p>1. АТМ является асинхронным в том смысле, что ячейки от отдельных пользователей передаются аperiodически.</p> <p>2. Эта технология предназначена для передачи данных со скоростью от 1,5 до 2 Gbit/s и обеспечивает эффективную передачу различных типов данных (голос, видео, мультимедиа, трафик ЛВС) на значительные расстояния.</p> <p>1. Qayd qilingan uzunlikdagi paketlar – yacheykalar yoki qayd qilingan oʻlchamdagi (53 bait) paketlar (ulardan 5 bait sarlavha ostida, 48 bait ishchi yuklama ostida foydalaniladigan) kommutatsiyasining standartlashtirilgan ITU texnologiyasi.</p>

	<p>2. Bogʻlanishlarni oʻrnatish bilan maʼlumotlarni uzatishning yuqori tezlikli texnologiyasi, unda qayd qilingan oʻlchamdagi yacheykalar oʻrniga oʻzgaruvchan uzunlikdagi paketlar foydalaniladi.</p> <p>1. ATM ayrim foydalanuvchilardan yacheykalar aperiodik uzatilganligi uchun asinxron hisoblanadi.</p> <p>2. Ushbu texnologiya 1,5 dan 2 Gbit/s gacha tezlik bilan maʼlumotlarni uzatish uchun moʻljallangan va maʼlumotlarning har xil turlarini (tovush, video, multimedia, LHT trafigi) katta masofalarga samarali uzatilishini taʼminlaydi.</p>
<p>Бод Bod</p>	<p>Единица скорости передачи сигнала, выполняемая числом дискретных переходов или событий в секунду.</p> <p><i>Примечание</i> – Если каждое событие представляет собой один bit, то бод эквивалентен bit/s (в реальных коммуникациях это зачастую не выполняется).</p> <p>Diskret oʻtishlar yoki hodisalarning sekundiga oʻlchanadigan son bilan signalni uzatish tezligining birligi.</p> <p><i>Izoh</i> – Har bir hodisa bitta bit dan iborat boʻlsa, unda bod bit/s ga ekvivalentdir (real kommunikatsiyalarda bu koʻpincha bajarilmaydi).</p>
<p>Буфер Bufer</p>	<p>Программная или аппаратная реализация памяти для промежуточного хранения данных, используемая для компенсации разницы в скорости обработки информации при передаче данных между двумя устройствами с различным быстродействием.</p> <p>Maʼlumotlarni oraliqda saqlash uchun</p>

	<p>xotirani dasturiy yoki apparatli tarzda ishlatish va undan turli tezlikda ishlaydigan ikki qurilma o'rtasida ma'lumotlar uzatishda axborotni qayta ishlash tezligidagi farqni yo'qotishda foydalanish.</p>
<p>Быстрая коммутация пакетов Paketlarning tez kommutatsiyasi</p>	<p>Цифровая технология, отличающаяся от традиционной коммутации пакетов по нескольким направлениям: применение единого формата пакетов для разных видов информации (данных, речи и видео), способствующих повышению скорости передачи; использование пакетов фиксированной длины – 53 byte; аппаратная реализация, позволяющая достичь скоростей передачи от 100 тыс. до 1 млн. пакетов в секунду.</p> <p><i>Примечание</i> – Быструю коммутацию пакетов можно применять для приложений, которые основываются на коммутации каналов (особенно для передачи речи) и при использовании методов временного мультиплексирования.</p> <p>Bir nechta yo'nalishlar: uzatish tezligini oshirishga ko'maklashadigan turli ko'rinishdagi axborotlar (ma'lumotlar, nutq va video) uchun paketlarning yagona o'lchami qo'llanilishi; qayd qilingan uzunlikdagi – 53 byte paketlardan foydalanish, sekundiga 100 mingdan 1 mln. gacha bo'lgan paketlarni uzatish tezligiga erishish imkonini beradigan apparatli amalga oshirish bo'yicha paketlarning an'anaviy kommutatsiyasidan farq qiladigan raqamli texnologiya.</p> <p><i>Izoh</i> – Paketlarni tez kommutatsiyalash kanallar kommutatsiyasiga asoslangan ilovalar</p>

	(ayniqsa nutqni uzatish) da va vaqt bo'yicha multipleksorlash metodlaridan foydalanganda qo'llanilishi mumkin.
Вспомогательный ресурс интерфейса Interfeysning yordamchi resursi	<p>Часть битового потока, остающаяся после выделения полезного ресурса интерфейса. Вспомогательный ресурс интерфейса может использоваться для основных целей (например, для синхронизации циклов в отводимом нескольким пользователям интерфейсе) или для вспомогательных целей (например, для контроля качества).</p> <p>Interfeysning foydali resursi ajratilgandan keyin qoladigan bit oqimining qismi. Interfeysning yordamchi resursi asosiy maqsadlar uchun (masalan, bir nechta foydalanuvchilar tomonidan ajratib olingan interfeysda sikllarni sinxronlash uchun) yoki yordamchi maqsadlar uchun (masalan, sifatni nazorat qilish uchun) foydalanilishi mumkin.</p>
Выделенный канал Ajratilgan kanal	<p>Канал связи, постоянно закрепленный за источником передачи информации.</p> <p>Axborotni uzatish manbai uchun doimo biriktirilgan aloqa kanali.</p>
Высокоуровневый протокол управления каналом передачи данных Ma'lumotlar uzatish kanalini boshqarishning yuqori darajali protokoli	<p>Бит-ориентированный синхронный протокол канального уровня, разработанный ISO. Он задает метод инкапсуляции данных в линиях синхронной последовательной связи с использованием символов кадра и контрольных сумм.</p> <p>ISO tomonidan ishlab chiqilgan bit-kanal sathidagi mo'ljallangan sinxron protokol. U kadr simvollari va nazorat summalaridan foydalanib, ketma-ket sinxron aloqa liniyalarida ma'lumotlar inkapsulyatsiyasi metodini beradi.</p>

<p>Дейтаграмма (датаграмма) Deytagramma (datagramma)</p>	<p>1. Метод передачи данных, при котором части сообщений передаются независимо в произвольном порядке и, возможно, по разным маршрутам, но принимающая машина собирает эти фрагменты в нужном порядке.</p> <p>2. Пакет в сети передачи данных, передаваемый через сеть независимо от других пакетов без установления логического соединения и квитирования.</p> <p>1. Xabarning qismlari ixtiyoriy tartibda erkin va mumkin qadar turli yoʻnalishlar boʻyicha uzatiladigan maʼlumotlar uzatish metodi, lekin qabul qiluvchi mashina tegishli tartibda bu fragmentlarni yigʻib oladi.</p> <p>2. Mantiqiy bogʻlanish va kvitirlashni oʻrnatmasdan, boshqa paketlarga bogʻliq boʻlmagan tarmoq orqali uzatiladigan maʼlumotlar uzatish tarmogʻidagi paket.</p>
<p>Детектор качества сигнала данных Maʼlumotlar signalining sifat detektori</p>	<p>Устройство, измеряющее значение представляющего параметра сигнала данных и вырабатывающее сигнал, указывающий на возможность ошибки в поступившем сигнале.</p> <p>Примечание – Существует детектор качества сигнала данных аналоговый и цифровой, для обработки соответственно аналоговых и цифровых сигналов данных.</p> <p>Maʼlumotlar signalining parametriga ega boʻlgan qiymatni oʻlchaydigan va kelib tushayotgan signalda xato boʻlishi mumkinligini koʻrsatadigan signalni ishlab chiqaradigan qurilma.</p> <p>Izoh – Maʼlumotlarning analog va raqamli signallarini mos ravishda qayta ishlash uchun analog va raqamli maʼlumotlar signallarining sifat detektori</p>

	mavjud.
Детектор качества сигнала данных аналоговый Ma'lumotlar signalining analog sifat detektori	<p>Детектор качества сигнала данных, предназначенный для обработки аналоговых сигналов данных.</p> <p>Ma'lumotlar analog signallarini qayta ishlash uchun mo'ljallangan ma'lumotlar signalining sifat detektori.</p>
Детектор качества сигнала данных цифровой Ma'lumotlar signalining raqamli sifat detektori	<p>Детектор качества сигнала данных, предназначенный для обработки цифровых сигналов данных.</p> <p>Ma'lumotlar raqamli signallarini qayta ishlash uchun mo'ljallangan ma'lumotlar signalining sifat detektori.</p>
Динамическая маршрутизация Dinamik marshrutlash	<p>Метод автоматического изменения маршрута следования сообщений при отказах или перегрузках определенных линий. Используется в сетях коммутации пакетов.</p> <p>Muayyan liniyalar ishlamay qolganda yoki ortiqcha yuklanishda, xabarlar o'tish yo'lini avtomat ravishda o'zgartirish metodi. Paketlar kommutatsiyalanadigan tarmoqlarda foydalaniladi.</p>
Динамическое сжатие Dinamik siqish	<p>Сжатие любых видов данных, предназначенное для сокращения занимаемой области дисковой памяти данными, требующими оперативного доступа, и их вывода на внешние устройства ЭВМ (в том числе, на экран монитора). Динамическое сжатие данных и их восстановление производится специальными программными средствами автоматически и мгновенно.</p> <p>Operativ foydalanish va ma'lumotlarni EHM ning tashqi qurilmasiga (shu jumladan, monitor ekraniga) chiqarish talab qilinadigan diskli xotirada egallangan sohasini qisqartirish</p>

	<p>uchun mo'ljallangan, ma'lumotlarning har qanday turini siqish. Ma'lumotlarni dinamik siqish va ularni tiklash maxsus dasturiy vositalarda avtomatik ravishda va bir onda bajariladi.</p>
<p>Дисторсия (искажение) Distorsiya (buzilish)</p>	<p>Нежелательное изменение формы сигнала при его передаче между двумя точками коммуникационной системы.</p> <p>Kommunikatsiya tizimining ikki nuqtasi o'rtasida signalni uzatishda signal shaklining o'rinsiz o'zgarishi.</p>
<p>Задержка Kechikish</p>	<p>Характеризует интервал между приемом и передачей пакетов.</p> <p>Paketlarni qabul qilish va uzatish o'rtasidagi intervalni tavsiflaydi.</p>
<p>Задержка сигнала индикации аварийного состояния Avariya holatidagi indikatsiya signalining kechikishi</p>	<p>Параметр из группы статических, который связан с анализом корректности настройки аппаратуры сетей передачи данных.</p> <p><i>Примечание</i> – Непосредственное измерение этого параметра требуется в том случае, если сама аппаратура не фиксирует сигнал AISS.</p> <p>Ma'lumotlar uzatish tarmoqlarining apparaturasi sozlanishini to'g'rilash tahlili bilan bog'liq bo'lgan statik guruhlarning parametri.</p> <p><i>Izoh</i> – Apparaturaning o'zi AISS signalini qayd etmasa, ushbu parametрни bevosita o'lchash talab etiladi.</p>
<p>Запрос автоматического повторения Avtomatik takrorlashni so'rash</p>	<p>Методика коммуникации, при которой принимающее устройство выявляет ошибки и запрашивает повторную передачу.</p> <p>Qabul qiluvchi qurilma xatolarni aniqlaydigan va takroriy uzatishni so'raydigan kommunikatsiya metodikasi.</p>
<p>Избыточная скорость передачи</p>	<p>Трафик, превышающий гарантированную полосу пропускания</p>

<p>Ortiqcha uzatish tezligi</p>	<p>для данного соединения. В частности, избыточная скорость передачи равна максимальной скорости передачи за вычетом гарантированной скорости передачи. Избыточный трафик доставляется только в том случае, когда имеются соответствующие ресурсы, во время перегрузки он может отбрасываться.</p> <p>Belgilangan ulanish uchun kafolatlangan o'tkazish polosidan oshuvchi trafik. Xususan, uzatishning ortiqcha tezligi uzatishning kafolatlangan tezigisiz uzatishning maksimal tezigiga teng. Ortiqcha trafik tegishli resurslar mavjud bo'lgan hollardagina yetkaziladi, o'ta yuklanish vaqtida u chiqarib tashlanishi mumkin.</p>
<p>Избыточный код Ortiqcha kod</p>	<p>Код, построенный для автоматического распознавания наличия ошибок (например, код CRC-8 в заголовке, CRC-10 и RIP-16 в ячейках эксплуатации и управления).</p> <p>Xatolar mavjudligini avtomatik tarzda aniqlash uchun qurilgan kod (masalan, sarlavhadagi CRC-8, ekspluatatsiya qilish va boshqarish yacheykalaridagi CRC-10 va RIP-16 kod).</p>
<p>Интерфейс базового доступа ISDN ISDN bazaviy foydalana olish interfeysi</p>	<p>ISDN-интерфейс, состоящий из двух В-каналов и одного D-канала, который используется для передачи голоса, видеоизображений и данных по коммутируемым каналам.</p> <p>Tovush, videotasvir va ma'lumotlarni kommutatsiyalanadigan kanallar bo'yicha uzatishda ishlatiladigan ikkita V-kanallar va bitta D-kanaldan tashkil topgan ISDN-interfeys.</p>
<p>Интерфейс ISDN на</p>	<p>Интерфейс, обеспечивающий два</p>

<p>базовой скорости Asosiy tezlikdagi ISDN interfeysi</p>	<p>канала 64 kbit/s (называемые B Channel) для передачи голоса или данных и один канал 16 kbit/s (называемый D Channel) для передачи сигналов управления 2B-D.</p> <p>Ovoz yoki ma'lumotlar uzatish uchun ikkita 64 kbit/s (B Channel deb nomlanuvchi) kanalni va 2B-D boshqaruv signallarini uzatish uchun bitta 16 kbit/s (D Channel deb nomlanuvchi) kanalni ta'minlaydigan interfeys.</p>
<p>Интерфейс передачи с основной скоростью Asosiy tezlikli uzatish interfeysi</p>	<p>ISDN-интерфейс основного доступа. Средства основного доступа; включают один D-канал 64 kbit/s плюс 23 (T 1) или 30 (E 1) B – каналов для передачи голоса и данных.</p> <p>Asosiy foydalanish ISDN-interfeysi. Asosiy foydalanish vositalari bitta D-kanal 64 kbit/s plus 23 (T 1) yoki 30 (E 1) V – tovush va ma'lumotlar uzatish kanallarini o'z ichiga oladi.</p>
<p>Кадр Kadr</p>	<p>1. Блок данных фиксированного формата, передаваемый по каналу телекоммуникаций и имеющий в своем составе управляющую информацию, например, адреса и контрольную сумму для обнаружения ошибок. Размер и содержимое определяется соответствующим протоколом.</p> <p>Примечание – Термины «кадр» и «пакет» все чаще употребляются как синонимы, хотя кадр формируется на канальном уровне, а пакет – на сетевом и транспортном уровнях.</p> <p>2. Блок переменной длины, идентифицируемый меткой на уровне 2 эталонной модели взаимодействия открытых систем – блок HDLC.</p> <p>3. Логическая группа информации, посылаемая в виде блока канального</p>

уровня в среду передачи данных. Часто под этим термином понимают заголовок и хвостовую часть, используемые для синхронизации и контроля ошибок, которые окружают пользовательские данные, содержащиеся в блоке. Для описания логических групп информации на различных уровнях эталонной модели OSI используются также термины «ячейка», «дейтаграмма», «сообщение», «пакет» и «сегмент».

1. Telekommunikatsiyalar kanali bo‘ylab uzatiladigan va o‘zining tarkibida boshqaruvchi axborotga, masalan, xatolarni aniqlash uchun adres va nazorat summasiga ega bo‘lgan qayd etilgan formatning ma’lumotlar bloki. O‘lchami va tarkibi tegishli protokol bilan aniqlanadi.

Izoh – «Kadr» va «paket» atamalari, garchi kadr kanal sathda, paket esa, tarmoq va transport sathlarda shakllansa ham, ko‘p hollarda sinonim sifatida qo‘llaniladi.

2. Ochiq tizimlarning o‘zaro bog‘lanishi etalon modelining 2 sathida belgi bilan identifikatsiya qilinadigan o‘zgaruvchan uzunlikdagi blok – HDLC bloki.

3. Ma’lumotlar uzatish muhitida kanal sathida blok ko‘rinishida jo‘natiladigan axborotlarning mantiqiy guruhi. Bu atama ostida ko‘pincha, blokda bo‘lgan foydalanuvchi ma’lumotlarini qamrab oladigan, xatolarni sinxronlash va nazorat qilishda ishlatiladigan sarlavha va oxirgi qism tushuniladi. OSI etalon modelining turli sathlarida axborotning mantiqiy guruhlarini tavsiflash uchun, shuningdek, «yacheyka», «deytagramma», «xabar», «paket» va «segment»

	atamalaridan ham foydalaniladi.
Канал Kanal	<p>Путь передачи (электрических) сигналов между двумя или несколькими точками.</p> <p>Ikki yoki bir nechta nuqtalar o'rtasida (elektr) signallarini uzatish yo'li.</p>
Канал передачи данных Ma'lumotlar uzatish kanali	<p>Канал телекоммуникаций для передачи сигналов данных.</p> <p>Ma'lumotlar signallarini uzatish uchun mo'ljallangan telekommunikatsiyalar kanali.</p>
Канал передачи данных аналоговый Analog ma'lumotlar uzatish kanali	<p>Канал передачи данных, по которому может передаваться аналоговый сигнал данных.</p> <p>Analog ma'lumotlarning signali uzatilishi mumkin bo'lgan ma'lumotlar uzatish kanali.</p>
Канал передачи данных дуплексный Dupleks ma'lumotlar uzatish kanali	<p>Пара симплексных каналов, передаваемых на одной частоте в противоположных направлениях.</p> <p>Bir chastotada qarama-qarshi yo'nalishlarda uzatiladigan simpleks kanallar jufti.</p>
Канал передачи данных защищенный от ошибок Xatolardan himoyalangan ma'lumotlar uzatish kanali	<p>Канал передачи данных с включенными на входе и выходе этого канала устройствами защиты сигнала данных от ошибок.</p> <p>Ma'lumotlar uzatish kanalining kirishi va chiqishiga ma'lumotlar signalini xatolardan himoya qilish qurilmalari ulangan ma'lumotlar uzatish kanali.</p>
Канал передачи данных обратный Teskari ma'lumotlar uzatish kanali	<p>Канал передачи данных, по которому сигнал данных передается в направлении от получателя сообщения данных к его отправителю.</p> <p>Ma'lumotlar xabarining oluvchisidan uning jo'natuvchisiga bo'lgan yo'nalishda ma'lumotlar signali uzatiladigan ma'lumotlar uzatish kanali.</p>

<p>Канал передачи данных односторонний Bir tomonlama ma'lumotlar uzatish kanali</p>	<p>Канал передачи данных, по которому сигнал данных может передаваться только в одном направлении.</p> <p>Ma'lumotlar signali faqat bir tomonlama uzatilishi mumkin bo'lgan ma'lumotlar uzatish kanali.</p>
<p>Канал передачи данных поочередный двусторонний Navbati bilan ikki tomonlama ma'lumotlar uzatish kanali</p>	<p>Канал передачи данных, в котором после передачи сигнала данных в одном направлении имеется возможность перехода к передаче сигнала данных в противоположном направлении.</p> <p>Bir yo'nalishda ma'lumotlar signali uzatilgandan keyin qarama-qarshi yo'nalishga ma'lumotlar signalini uzatish uchun o'tkazish imkoniga ega ma'lumotlar uzatish kanali.</p>
<p>Канал передачи данных прямой Bevosita ma'lumotlar uzatish kanali</p>	<p>Канал передачи данных, по которому сигнал данных передается в направлении от отправителя к его получателю.</p> <p>Ma'lumotlar signali jo'natuvchidan uni oluvchiga bo'lgan yo'nalishda uzatiladigan ma'lumotlar uzatish kanali.</p>
<p>Канал служебный Xizmat kanali</p>	<p>Канал передачи данных или речевой канал, используемый для проверки технических характеристик, технического обслуживания или обмена служебной информацией; в спутниковой связи такой канал организуется между земными станциями и центрами управления.</p> <p>Texnik tavsiflar, texnik xizmat ko'rsatish yoki xizmat axboroti almashinuvini tekshirish uchun foydalaniladigan ma'lumotlar uzatish kanali yoki nutq kanali. Yo'ldoshli aloqada bunday kanal yer usti stansiyalari va</p>

	boshqaruv markazlari o'rtasida tashkil qilinadi.
Канал управления служебный Boshqaruvning xizmat kanali	<p>Специально выделенный канал для передачи команд управления и технического обслуживания.</p> <p>Boshqaruv komandalarini uzatish va texnik xizmat ko'rsatish uchun maxsus ajratilgan kanal.</p>
Код исправления ошибок Xatolarni tuzatish kodi	<p>Код с достаточными технологическими возможностями и содержащий достаточную сигнальную информацию для обнаружения и исправления большого количества ошибок в месте приема.</p> <p>Yetarli texnologik imkoniyatlar va qabul qilish joyida xatolarning katta sonini aniqlash va tuzatish uchun yetarli signalli axborotga ega kod.</p>
Код обнаружения ошибок Xatolarni aniqlash kodi	<p>Код, который может определять ошибки передачи через анализ полученных данных на основе строгого соответствия данных соответствующим структурным нормам.</p> <p>Ma'lumotlarning tegishli strukturaviy normalarga qat'iy muvofiqligi asosida olingan ma'lumotlarni tahlil qilish orqali uzatishdagi xatolarni aniqlashi mumkin bo'lgan kod.</p>
Код с исправлением ошибок Xatolarni tuzatuvchi kod	<p>Класс кодов с автоматическим исправлением ошибок за счет введения избыточных символов в передаваемый сигнал.</p> <p>Uzatiladigan signalga ortiqcha simvollarni kiritish hisobiga xatolarni avtomatik tuzatuvchi kodlar klassi.</p>
Коллизийный домен (область коллизий) Kolliziyali domen (kolliziyalar sohasi)	<p>Часть сети (сегмент), в которой станции используют общую среду передачи; при попытке одновременной передачи данных двумя или более</p>

	<p>станциями возникает конфликт (коллизия).</p> <p><i>Примечание</i> – Для разрешения конфликтов используется протокол CSMA/CD.</p> <p>Uzatishning umumiy muhitidan foydalanadigan stansiyaning tarmoq qismi (segmenti); ikki va undan ortiq stansiyalarda ma'lumotlarni bir vaqtda uzatishga urinishda to'qnashuv (kolliziya) yuzaga keladi.</p> <p><i>Izoh</i> – Kelishmovchiliklarni hal etish uchun CSMA/CD protokolidan foydalaniladi.</p>
<p>Коллизия Kolliziya</p>	<p>1. Попытка двух (или более) станций одновременно начать передачу пакета в сети CSMA/CD; при обнаружении конфликта обе станции прекращают передачу и пытаются возобновить ее по истечении определяемого случайным образом интервала времени, что позволяет решить проблему возникновения повторного конфликта.</p> <p>2. Количество столкновений пакетов в радио-канале за единицу времени.</p> <p>1. Ikki (yoki undan ortiq) stansiyaning bir vaqtda CSMA/CD tarmog'ida paketni uzatishni boshlashga urinishi; kelishmovchilik aniqlanganda ikkala stansiya ham uzatishni to'xtatadi va uni kelishmovchilik yuzaga kelish muammosini hal etish imkoniga ega tasodifiy ravishda aniqlanuvchi vaqt oraliq'i o'tgandan so'ng takroran tiklashga urinadilar.</p> <p>2. Vaqt birligi ichida paketlarning radiokanalda urilishlar soni.</p>
<p>Коммутация Kommutatsiya</p>	<p>Процесс взаимного соединения функциональных блоков, каналов передачи или каналов связи на то время,</p>

	<p>какое требуется для транспортировки сигналов.</p> <p>Signallarni uzatish uchun talab qilingan vaqt davomida funksional bloklar, uzatish kanallari yoki aloqa kanallarining o‘zaro ulanish jarayoni.</p>
<p>Коммутация каналов передачи данных кроссовая (кроссовая коммутация) Ma’lumotlar uzatish kanallarining krossli kommutatsiyasi (krossli kommutatsiya)</p>	<p>Коммутация каналов передачи данных на время большее, чем это необходимо для передачи одного сообщения данных, и с сохранением установленного соединения при повторной передаче сообщения данных.</p> <p>Ma’lumotlarning bitta xabarini uzatish uchun zarur bo‘lgan ortiqroq vaqtda va ma’lumotlar xabarini takroran uzatishda o‘rnatilgan bog‘lanishni saqlaydigan ma’lumotlar uzatish kanallarining kommutatsiyasi.</p>
<p>Коммутация каналов Kanallar kommutatsiyasi</p>	<p>1. Коммуникационная модель, в которой между двумя хостами организуется выделенный коммуникационный путь, используемый для передачи пакетов. Путь существует только во время передачи, а по окончании ее путь закрывается; после закрытия соединения его могут использовать другие хосты.</p> <p>2. Совокупность операций на станциях и узлах, обеспечивающая последовательное соединение каналов по требованию на время, необходимое для передачи определенного объема сообщений между пользователями.</p> <p>3. Система коммутации, при которой между отправителем и получателем на протяжении соединения должен существовать выделенный физический канал связи. Широко используется в телефонной сети.</p>

	<p>1. Paketlarni uzatish uchun foydalaniladigan ikki xost o'rtasida ajratilgan kommunikatsiya yo'li tashkil etiladigan kommunikatsiya modeli. Yo'l faqat uzatish vaqtida mavjud bo'ladi, uzatish tugagandan so'ng yo'l yopiladi. Ulanish yopilgach undan boshqa xostlar foydalanishi mumkin.</p> <p>2. Foydalanuvchilar o'rtasida aniq hajmdagi xabarlarini uzatish uchun zarur vaqt talab etiladigan kanallarning ketma-ket bog'lanishini ta'minlaydigan stansiyalar va tugunlardagi operatsiyalar majmui.</p> <p>3. Jo'natuvchi va oluvchi o'rtasida ulanish davomida ajratilgan fizik aloqa kanali mavjud bo'ladigan kommutatsiya tizimi. Telefon tarmog'ida keng qo'llaniladi.</p>
<p>Коммутация каналов передачи данных (коммутация каналов) Ma'lumotlar uzatish kanallari kommutatsiyasi (kanallar kommutatsiyasi)</p>	<p>Коммутация, при которой обеспечивается соединение каналов сети коммутации для образования канала передачи данных.</p> <p>Ma'lumotlar uzatish kanalini tashkil etish uchun kommutatsiya tarmog'i kanallarining bog'lanishi ta'minlanadigan kommutatsiya.</p>
<p>Коммутация пакетов Paketlar kommutatsiyasi</p>	<p>Совокупность операций на станции или сети коммутации, состоящих в приеме отрезков сообщений (пакетов) и передаче их в соответствии с содержащимся в них адресным признаком.</p> <p>Коммутatsiya stansiyasi yoki tarmog'idagi, xabarlar (paketlar) qismlarini qabul qilish va adres belgisiga ko'ra uzatishdan iborat operatsiyalar majmui.</p>
<p>Коммутация сообщений данных (коммутация сообщений)</p>	<p>Коммутация, при которой производится прием сообщения данных, его накопление и последующая</p>

<p>Ma'lumotlar xabarlar kommutatsiyasi (xabarlar kommutatsiyasi)</p>	<p>передача. Ma'lumotlar xabarini qabul qilish, to'plash va keyinchalik uzatish amalga oshiriladigan kommutatsiya.</p>
<p>Контроль ошибок Xatolar nazorati</p>	<p>Технология обнаружения и исправления ошибок при передаче данных. Ma'lumotlar uzatish paytida xatolarni aniqlash va tuzatish texnologiyasi.</p>
<p>Кэширование Keshlash</p>	<p>Сохранение данных, полученных в результате предыдущих операций, для ускорения последующих. Кэширование не ограничивается сохранением части дисковых данных в памяти – иногда для этого создаются временные файлы на диске. В контексте передачи данных этот термин используется для обозначения копирования справочников и других информационных атрибутов для ускорения передачи сообщений. Oldingi operasialar natijasida olingan ma'lumotlarni keyingi operasialarni tezlashtirish uchun saqlash. Keshlash disk ma'lumotlarining bir qismini xotirada saqlab qolish bilan chegaralanib qolmaydi, ayrim hollarda, buning uchun diskda vaqtinchalik fayllar yaratiladi. Ma'lumotlar uzatish kontekstida bu atamadan xabarlar uzatilishini tezlashtirish uchun ma'lumotnomalar va boshqa axborot atributlaridan nusxa olinishini belgilashda foydalaniladi.</p>
<p>Линия телекоммуникационная (телекоммуникационный канал) Telekommunikatsiya liniyasi (telekommunikatsiya kanali)</p>	<p>Любая физическая среда, которая может использоваться для передачи данных, например, телефонный провод или радиоволны. Ma'lumotlarni uzatish uchun foydalaniladigan istalgan fizik muhit, masalan, telefon simi yoki radioto'lqinlar.</p>

<p>Максимальная скорость передачи Maksimal uzatish tezligi</p>	<p>Максимальная общая пропускная способность передачи данных, допустимая на заданном виртуальном канале и равная сумме гарантированного и негарантированного трафика от источника. Негарантированные данные могут отбрасываться в случае перегрузки сети. Максимальная скорость передачи, которая не может превышать скорость передачи данных среды, отражает наибольшую пропускную способность виртуального канала, которую тот способен достичь, и измеряется в битах или ячейках в секунду.</p> <p>Berilgan virtual kanalda yo‘l qo‘yiladigan va manbadan bo‘ladigan kafolatlangan va kafolatlanmagan trafik summasiga teng ma’lumotlar uzatishning umumiy maksimal o‘tkazish qobiliyati. Kafolatlanmagan ma’lumotlar tarmoq o‘ta yuklangan hollarda tashlab yuborilishi mumkin. Muhitning ma’lumotlar uzatish tezligidan oshi-shi mumkin bo‘lmagan maksimal uzatish tezligi virtual kanalning, u erisha oladigan, eng yuqori o‘tkazish qobiliyatini aks ettiradi va bitlarda yoki bir sekunddagi yacheykalar bilan o‘lchanadi.</p>
<p>Маршрут Marshrut</p>	<p>Последовательность узлов сети передачи данных, по которой данные пересылаются от источника к приемнику.</p> <p>Ma’lumotlarni manbadan qabul qilgichga uzatadigan ma’lumotlar uzatish tarmog‘i tugunlarining ketma-ketligi.</p>
<p>Метод управления доступом Kira olishni boshqarish metodi</p>	<p>Основная характеристика, определяющая различные технологии локальных вычислительных сетей, которая специфицирует порядок</p>

	<p>предоставления сетевым узлам доступа к среде передачи данных с тем, чтобы обеспечить каждому пользователю приемлемый уровень обслуживания.</p> <p>Har bir foydalanuvchiga xizmat ko‘rsatishning maqbul darajasini ta’minlash uchun tarmoq tugunlarining ma’lumotlar uzatish muhitiga kira olishni taqdim etish tartibini tasniflaydigan lokal hisoblash tarmoqlarining turli texnologiyalarini belgilaydigan asosiy xarakteristika.</p>
<p>Маршрутизация Marshrutlash</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выбор последовательности трактов передачи и сетевых узлов, по которой информация передается от источника к приемнику. 2. Процесс выбора оптимального пути для передачи сообщения. 3. Процесс выбора оптимального пути (маршрута) передачи пакета через одну или несколько сетей. Осуществляется на основе постоянных (вычисляемых в начале работы системы) или динамических маршрутных таблиц, которые могут формироваться централизованно для всей сети или распределенным способом – вычисляться в различных узлах сети независимо друг от друга. Методы маршрутизации основаны на использовании сведений о длине векторов, алгоритма предпочтения кратчайшего пути, а также других методов и технологий, применяемых в разных сетях. Реализация этих методов, алгоритмов и технологий осуществляется с использованием протоколов маршрутизации. 4. Процесс установления пути до хост-машины получателя. Из-за

	<p>большого количества потенциальных промежуточных узлов, по которым должен пройти пакет, прежде чем достигнет хост-машины получателя, маршрутизация в крупных сетях представляет собой весьма сложную операцию.</p> <p>1. Axborot manbadan qabul qilgichga uzatila-digan uzatish traktlari va tarmoq tugunlarining ketma-ketligini tanlash.</p> <p>2. Xabarlarni uzatish uchun optimal yo‘lni tanlash jarayoni.</p> <p>3. Bitta yoki bir nechta tarmoq orqali paketni uzatishning optimal yo‘li (marshruti) ni tanlash jarayoni. Barcha tarmoq uchun markazlashgan tarzda yoki bir-biridan mustaqil ravishda tarmoqning turli tugunlarida hisoblanadigan taqsimlangan usulda shakllanishi mumkin bo‘lgan doimiy (tizimning ish boshlashidan oldin hisoblanadigan) yoki dinamik marshrut jadvallari asosida amalga oshiriladi. Marshrutlash metodlari vektorlar uzunligi, qisqa yo‘lni afzal ko‘ruvchi algoritm ma’lumotlaridan, shuningdek, turli tarmoqlarda qo‘llaniladigan boshqa metodlar va texnologiyalardan foydalanishga asoslangan. Bu metodlar, algoritmlar va texnologiyalar marshrutlash protokollaridan foydalanib amalga oshiriladi.</p> <p>4. Oluvchining xost-mashinasigacha bo‘lgan yo‘lni belgilash jarayoni. Oluvchining xost-mashinasiga yetgunga qadar, paket o‘tishi kerak bo‘lgan potensial oraliq tugunlar soni katta bo‘lishi tufayli, yirik tarmoqlardagi marshrutlash murakkab operatsiyani o‘zida aks ettiradi.</p>
Маршрутизатор	1. Устройство, объединяющее

<p>Marshrutizator</p>	<p>несколько локальных сетей в одну сеть и обеспечивающее передачу данных из одной сети в другую, которое фильтрует пакеты и защищает сеть от ненужных пакетов.</p> <p>Примечание – Маршрутизатор находится на третьем (сетевом) уровне OSI и обеспечивает выбор одного из нескольких путей передачи пакетов.</p> <p>2. Система, отвечающая за принятие решений о выборе одного из нескольких путей передачи сетевого трафика. Для выполнения этой задачи используются маршрутизируемые протоколы, содержащие информацию о сети и алгоритмы выбора наилучшего пути на основе нескольких критериев, называемых метрикой маршрутизации («routing metrics»).</p> <p>3. Устройство, работающее на сетевом уровне модели OSI, которое использует одну или несколько метрик для определения оптимального пути, по которому должен быть направлен сетевой трафик. Маршрутизаторы переадресовывают пакеты из одной сети в другую, основываясь на информации сетевого уровня, содержащейся в пакетах обновления маршрутной информации.</p> <p>1. Bir nechta lokal tarmoqni bitta tarmoqqa birlashtiruvchi va ma'lumotlarni bir tarmoqdan, paketlarni filtrlaydigan va tarmoqni kerak bo'lmagan paketlardan muhofaza qiladigan, boshqa tarmoqqa uzatilishini ta'minlaydigan qurilma.</p> <p>Izoh – Marshrutizator uchinchi (tarmoq) OSI cathda joylashadi va paketlarni uzatishning bir nechta yo'llaridan</p>
-----------------------	--

	<p>birini tanlashni ta'minlaydi.</p> <p>2. Bir nechta tarmoq trafigini uzatish yo'llaridan birini tanlash to'g'risidagi qarorlarni qabul qilish uchun javob beruvchi tizim. Bu vazifani bajarish uchun tarmoq to'g'risidagi axborot va marshrutlash metrikasi («routing metrics») deb nomlanuvchi, bir nechta mezonlar asosida eng yaxshi yo'lni tanlash algoritmlarini o'z ichiga oluvchi marshrutlash protokollaridan foydalaniladi.</p> <p>3. Tarmoq trafigi yo'naltirilishi kerak bo'lgan optimal yo'lni tanlash uchun, bir yoki bir necha metriklardan foydalanadigan, OSI modelining tarmoq sathida ishlaydigan qurilma. Marshrutizatorlar paketlarni bir tarmoqdan boshqasiga, marshrutli axborotni yangilash paketlaridagi mavjud tarmoq sathi axborotlariga tayangan holda, qayta yo'llaydi.</p>
<p>Модем для физических линий Fizik liniyalar uchun modem</p>	<p>Устройство, предназначенное для передачи данных по выделенным физическим линиям на расстояние до 50 km. Как правило, не модулирует исходный цифровой сигнал.</p> <p>Примечание – Модем называется также линейным драйвером, модемом для ограниченных расстояний и модемом основной полосы.</p> <p>Ajratilgan fizik liniyalar bo'yicha 50 km gacha masofaga ma'lumotlar uzatish uchun mo'ljallangan qurilma. Odatda, dastlabki raqamli signalni modulyatsiyalamaydi.</p> <p>Izoh – Shuningdek, liniya drayveri, cheklangan masofalar uchun modem va asosiy polosa modemi deb ham ataladi.</p>

<p>Мультиплексирование Multipleksorlash</p>	<p>Технология разделения средств передачи данных между группой использующих их объектов, при которой в одном физическом канале создается группа логических каналов.</p> <p>Примечание – Различают временное и частотное мультиплексирования.</p> <p>Bir fizik kanalda mantiqiy kanallar guruhi tuziladigan obyektarning vositalaridan foydalanadigan guruhlar o'rtasidagi ma'lumotlar uzatish vositalarini bo'lish texnologiyasi.</p> <p><i>Izoh</i> – Vaqt va chastota bo'yicha multipleksorlashga bo'linadi.</p>
<p>Мультиплексор передачи сигналов данных (мультиплексор) Ma'lumotlar signallarini uzatish multipleksori (multipleksor)</p>	<p>Устройство, с помощью которого осуществляется подключение к электронной вычислительной машине через каналы передачи сигналов телекоммуникаций нескольких оконечных установок передачи данных.</p> <p>Bir nechta chetki ma'lumotlar uzatish qurilmasining telekommunikatsiyalar signallarini uzatish kanallari orqali elektron hisoblash mashinasiga ulashda yordam beradigan qurilma.</p>
<p>Обнаружение конфликтов Nizolarni aniqlash</p>	<p>Принцип, положенный в основу метода доступа CSMA/CD, используемого в сетях Ethernet – способ обнаружения конфликтов, связанный с квитированием пакетов: если станция, передавшая данные, не получает квитанции от получателя она считает, что произошел конфликт.</p> <p>Ethernet tarmoqlarida foydalaniladigan CSMA/CDga kira olish metodi asosiga qo'yilgan prinsip – paketlarni kvitirlash bilan bog'liq bo'lgan kelishmovchiliklarni</p>

	<p>aniqlash usuli: agar ma'lumotlarni uzatgan stansiya oluvchidan kvitansiyaning qabul qilmasa, u kelishmovchilik ro'yi berdi, deb hisoblaydi.</p>
<p>Обратная связь при передаче данных решающая (решающая обратная связь) Ma'lumotlarni uzatishdagi hal qiluvchi teskari aloqa (hal qiluvchi teskari aloqa)</p>	<p>Обратная связь при передаче данных, при которой по обратному каналу передачи данных передается информация о сигнале, поступившем по прямому каналу передачи данных, с принятием решения на стороне приемника.</p> <p>Ma'lumotlar uzatishning to'g'ridan-to'g'ri kanali bo'ylab kelib tushgan signal to'g'risidagi axborot qabul qilgich tomonida qaror qabul qilish bilan ma'lumotlar uzatishning teskari kanali bo'yicha uzatiladigan ma'lumotlar uzatishdagi teskari aloqa.</p>
<p>Пакет IP IP paketi</p>	<p>Фундаментальная единица информации, передаваемая через сеть Интернет, содержащая адреса источника и получателя, данные и поля, определяющие длину пакета, контрольную сумму заголовка и флаги, говорящие о фрагментации пакета.</p> <p>Manba va oluvchining adresi, ma'lumotlar va paket uzunligini belgilaydigan maydon, sarlavhaning nazorat summasi va paketni fragmentatsiya qilish to'g'risidagi bayroqni o'z ichiga olgan Internet tarmog'i orqali uzatiladigan axborotning fundamental birligi.</p>
<p>Пакет информации Axborot paketi</p>	<p>Сообщение телекоммуникации, которое передается по сети передачи данных и в составе которого присутствуют данные, необходимые для его коммутации узлом связи.</p> <p>Ma'lumotlar uzatish tarmog'i bo'ylab uzatiladigan va tarkibida uni aloqa tuguni</p>

	<p>bilan kommu-tatsiyalashda zarur bo'ladigan ma'lumotlar ishtirok etadigan telekommunikatsiya xabari.</p>
<p>Пакетный режим передачи Paketli uzatish rejimi</p>	<p>Режим, при котором функции передачи и коммутации осуществляются на уровне пакетов для динамического разделения среды передачи и коммутации ресурсов между многочисленными соединениями.</p> <p>Uzatish va kommutatsiya qilish funksiyalari ko'p sonli bog'lanishlar o'rtasida resurslarni uzatish va kommutatsiya qilish muhitini dinamik ajratish uchun paketlar darajasida amalga oshiriladigan rejim.</p>
<p>Передача данных (ПД) Ma'lumotlar uzatish (MU)</p>	<p>Перенос данных в виде двоичных сигналов из одного пункта в другой средствами телекоммуникаций, как правило, для последующей обработки средствами вычислительной техники.</p> <p>Примечание – Здесь «данными» называется информация, которая представлена в виде, пригодном для обработки автоматическими средствами (например, ЭВМ) при возможном участии человека.</p> <p>Telekommunikatsiyalar vositalari yordamida ikkilik signallar ko'rinishidagi ma'lumotlarni bir joydan boshqasiga, odatda, ularga keyinchalik hisoblash texnikasi vositalari bilan qayta ishlash uchun ko'chirish.</p> <p>Izoh – Bu yerda «ma'lumotlar» deb, odamning ishtirok etishi mumkin bo'lgan holda, avtomatik vositalar (masalan, EHM) bilan qayta ishlash uchun yaroqli bo'lgan axborotga aytiladi.</p>
<p>Передача данных над речью</p>	<p>Метод передачи цифровых потоков по каналам аналоговых систем с</p>

<p>Tovush ustidan ma'lumotlar uzatish</p>	<p>частотным уплотнением каналов. Данные передаются в полосе частот выше полосы, используемой для передачи речи.</p> <p>Kanallarni chastotali zichlash bilan analogli tizimlar kanallari bo'yicha raqamli oqimlarni uzatish metodi. Ma'lumotlar nutqni uzatish uchun foydalaniladigan polosalardan yuqori chastotalar polosasida uzatiladi.</p>
<p>Передача данных по каналам телекоммуникаций (передача данных) Telekommunikatsiyalar kanallari bo'yicha ma'lumotlar uzatish (ma'lumotlar uzatish)</p>	<p>Вид телекоммуникаций, целью которого является передача данных по назначению.</p> <p>Maqsadi ma'lumotlarni belgilanishi bo'yicha uzatish bo'lib hisoblangan telekommunikatsiyalar turi.</p>
<p>Передача данных под речью Tovush ostidan ma'lumotlar uzatish</p>	<p>Метод передачи данных по аналоговым каналам на частотах, значения которых лежат ниже полосы частот стандартного телефонного канала (0,3-3,4 kHz).</p> <p>Qiymatlari standart telefon kanalining chastotalar polosasidan (0,3-3,4 kHz) quyida joylashgan chastotalarda analogli kanallar bo'yicha ma'lumotlar uzatish metodi.</p>
<p>Передача данных с промежуточным накоплением Oraliq yig'ish bilan ma'lumotlar uzatish</p>	<p>Метод передачи данных по сети, при котором сообщение полностью принимается на каждом промежуточном узле и только после этого отправляется дальше.</p> <p><i>Примечание</i> – Применяется для приложений не критичных ко времени отклика.</p> <p>Ma'lumotlarni tarmoq bo'yicha uzatish metodi, bunda xabar har bir oraliq tugunda to'liq qabul qilinadi va faqat</p>

	<p>shundan so‘ng keyingi bosqichga jo‘natiladi.</p> <p><i>Izoh</i> – Javob berish vaqti unchalik zarur bo‘lmagan ilovalar uchun qo‘llaniladi.</p>
<p>Периодический цикл Davriy sikl</p>	<p>Сегмент передачи, который повторяется в интервалах равной длительности (например, 125 μs) и может быть выделен с помощью вставки в битовый поток фиксированных, периодически повторяющихся комбинаций символов.</p> <p>Teng davriylik intervallarida (masalan, 125 μs) takrorlanadigan va qayd etilgan, vaqti-vaqti bilan takrorlanadigan simvollar kombinatsiyasining bitli oqimlarga kiritish yordamida ajratilgan bo‘lishi mumkin bo‘lgan uzatish segmenti.</p>
<p>Подчиненная станция Tobe stansiya</p>	<p>В канальных протоколах синхронной побитовой передачи данных (например, HDLC): станция, которая отвечает на команды главной станции.</p> <p>Bitlar bo‘yicha sinxron ma‘lumotlar uzatish (masalan, HDLC) kanal protokollarida bosh stansiyaning komandasiga javob beradigan stansiya.</p>
<p>Пользователь услуг передачи данных Ma‘lumotlar uzatish xizmatlari foydalanuvchisi</p>	<p>Человек (или принадлежащее ему ООД, или конкретный процесс в ООД), который использует услуги службы передачи данных.</p> <p>Ma‘lumotlar uzatish xizmatlari xizmatidan foydalanuvchi odam (yoki unga tegishli MOQ yoki MOQdagi ma‘lum jarayon).</p>
<p>Пользователь услугами телекоммуникации по передаче данных Ma‘lumotlar uzatish bo‘yicha aloqa xizmatlaridan</p>	<p>Лицо, заказывающее и/или использующее услуги связи по передаче данных.</p> <p>Ma‘lumotlar uzatish bo‘yicha aloqa xizmatlariga buyurtma beruvchi va/yoki ulardan foydalanuvchi shaxs.</p>

<p>foydalanuvchi</p> <p>Протокол передачи в реальном времени Real vaqtda uzatish protokoli</p>	<p>Один из протоколов, входящих в состав протокола IPv6 (Internet protocol, ver. 6). спроектирован, чтобы обеспечить функцию сквозной передачи в сети для приложений, передающих данные в реальном времени (например, таких, как аудио и видеоданные или данные моделирования) с использованием много или одноадресных служб. Протокол RTP предоставляет такие услуги, как идентификация типа полезной нагрузки, нумерация последовательностей, снабжение метками времени и мониторинг доставки для приложений реального времени.</p> <p>IPv6 (Internet protocol, ver.6) protokoli tarkibiga kiradigan protokollardan biri. Ko'p yoki bir adresli xizmatlardan foydalanib, ma'lumotlarni real vaqtda (masalan, audio va videoma'lumotlar yoki modellashtirish ma'lumotlari) uzatuvchi tarmoqda ilovalar uchun ochiq uzatish funksiyasini ta'minlash uchun loyihalashtirilgan. RTP protokoli foydali yuklama turini identifikatsiyalash, ketma-ketliklarni raqamlash, vaqt belgilari bilan ta'minlash va real vaqt ilovalarini yetkazish monitoringi kabi xizmatlarni taqdim etadi.</p>
<p>Протокол передачи данных Ma'lumotlar uzatish protokoli</p>	<p>Формализованный набор требований к структуре пакетов информации и алгоритму обмена пакетами информации между устройствами сети передачи данных.</p> <p>Ma'lumotlar uzatish tarmog'ini qurilmalari o'rtasida axborot paketlari strukturasi va axborot paketlari almashuvi algoritmi bo'lgan talablarning shakllantirilgan to'plami.</p>

<p>Протокол управления передачей Uzatishni boshqarish protokoli</p>	<p>Протокол транспортного уровня с установлением соединения, обеспечивающий надежную полnodуплексную передачу данных. Входит в состав группы протоколов TCP/IP.</p> <p>O‘rnatilgan ulanish bilan ma’lumotlarni to‘liq dupleksli ishonchli uzatishni ta’minlaydigan transport sathidagi protokol. TCP/IP guruhi protokollari tarkibiga kiradi.</p>
<p>Протокол управления синхронным каналом передачи данных Sinxron ma’lumotlar uzatish kanalini boshqarish protokoli</p>	<p>Коммуникационный протокол канального уровня модели SNA. Представляет собой бит-ориентированный полnodуплексный протокол последовательной передачи данных, породивший большое количество похожих протоколов, включая HDLC и LAPB.</p> <p>SNA modelining kanal sathidagi kommunikatsiya protokoli. HDLC va LAPB protokollarini qo‘shgan holda, katta sonli o‘xshash protokollarini yuzaga keltirgan ma’lumotlarni ketma-ket uzatishning, bitga yo‘naltirilgan to‘liq dupleksni o‘zida ifodalaydi.</p>
<p>Прямой доступ к памяти Hotiraga to‘g‘ridan-to‘g‘ri kira olish</p>	<p>Технология, используемая некоторыми аппаратными устройствами для передачи данных в оперативную память (или из нее), при которой обмен данными происходит напрямую, без привлечения к этой работе центрального процессора.</p> <p>Ba’zi apparat qurilmalari tomonidan ma’lumotlar almashinuvi bevosita ushbu ishga markaziy protsessorni jalb qilmasdan ro‘y beradigan, tezkor hotiraga (yoki undan) ma’lumotlarni uzatish uchun foydalaniladigan texnologiya.</p>
<p>Резервирование</p>	<p>1. Включение избыточных битов,</p>

Rezervlash	<p>позволяющих обнаруживать или автоматически исправлять ошибки при передаче данных.</p> <p>2. Дублирование критически важных элементов системы с автоматической передачей функций неработоспособного элемента запасному, находящемуся в состоянии постоянной готовности.</p> <p>1. Ma'lumotlarni uzatish vaqtida xatolarni aniqlash yoki ularni avtomat tarzda to'g'rilash imkonini beradigan ortiqcha bitlarni kiritish.</p> <p>2. Ishga yaroqsiz element funksiyalarini avtomatik tarzda doimo tayyor holatda bo'lgan zaxira elementiga uzatuvchi o'ta muhim tizim elementlarining takrorlanishi.</p>
<p>Сеть передачи данных Ma'lumotlar uzatish tarmog'i</p>	<p>1. Цифровая сеть, обеспечивающая транспортировку данных.</p> <p>2. Совокупность узлов и каналов телекоммуникаций, специально созданная для организации телекоммуникаций между определенными точками с целью обеспечения передачи данных.</p> <p>1. Ma'lumotlar uzatilishini ta'minlaydigan raqamli tarmoq.</p> <p>2. Ma'lumotlar uzatilishini ta'minlash maqsadida ma'lum nuqtalar o'rtasida telekommunikatsiyani tashkil etish uchun maxsus tuzilgan telekommunikatsiyalar tugunlari va kanallarining majmui.</p>
<p>Сеть передачи данных аналоговая Analog ma'lumotlar uzatish tarmog'i</p>	<p>Сеть передачи данных, оперирующая с аналоговыми сигналами данных.</p> <p>Analog ma'lumotlar signallari bilan ishlovchi ma'lumotlar uzatish tarmog'i.</p>
<p>Сеть передачи данных общего пользования</p>	<p>1. Термин применяется для обозначения сетей, с помощью которых</p>

<p>Umumiy foydalanishdagi ma'lumotlar uzatish tarmog'i</p>	<p>по местному телефонному номеру можно получить доступ к услугам компьютеров в различных городах.</p> <p>2. Сеть, находящаяся под управлением государства или частной компании и предоставляющая услуги по передаче данных населению на коммерческой основе. Такие сети позволяют небольшим организациям создавать глобальные сети, не неся затрат, связанных со стоимостью оборудования для междугородней связи.</p> <p>1. Mahalliy telefon nomeri bo'yicha turli sha-harlardagi kompyuterlarning xizmatlaridan foydalana olish mumkin bo'lgan tarmoqlarni ifodalash uchun qo'llaniladigan atama.</p> <p>2. Davlat yoki xususiy kompaniya boshqaruvida bo'lgan va aholiga tijorat asosida ma'lumotlar uzatish bo'yicha xizmat ko'rsatuvchi tarmoq. Bunday tarmoqlar, kichik tashkilotlarga shaharlararo aloqa uchun mo'ljallangan uskuna qiymati bilan bog'liq xarajatlar qilmasdan, global tarmoq yaratish imkonini beradi.</p>
<p>Сеть передачи данных специализированная Ixtisoslashgan ma'lumotlar uzatish tarmog'i</p>	<p>Сеть передачи данных, характеристики которой соответствуют требованиям, предъявляемым к обслуживанию отправителей и получателей сообщений данных.</p> <p>Tavsiflari ma'lumotlar xabarlarini jo'natuvchilar va oluvchilarga xizmat ko'rsatishga qo'yiladigan talablarga mos keladigan ma'lumotlar uzatish tarmog'i.</p>
<p>Сеть телекоммуникаций Telekommunikatsiyalar tarmog'i</p>	<p>Совокупность средств телекоммуникаций, обеспечивающих один или несколько видов передач: телефонную, телеграфную,</p>

	<p>факсимильную, передачу данных и других видов документальных сообщений, трансляцию телевизионных и радиовещательных программ.</p> <p>Uzatishlarning bir yoki bir necha turini: telefon, telegraf, faksimil turlarini, ma'lumotlar uzatish va hujjatli xabarlarning boshqa turlarini, televizion va radioeshittirish dasturlarini translyatsiya qilishni ta'minlovchi telekommunikatsiya vositalarining majmui.</p>
<p>Сжатие данных Ma'lumotlarni siqish</p>	<p>Метод, применяемый для уменьшения объема передаваемых данных и, соответственно, для увеличения эффективной скорости передачи.</p> <p><i>Примечание</i> – Принимающее устройство выполняет разуплотнение полученных данных.</p> <p>Uzatilayotgan ma'lumotlar hajmini kamaytirish va mos ravishda uzatishning samarali tezligini oshirish uchun qo'llaniladigan metod.</p> <p><i>Izoh</i> – Qabul qiluvchi qurilma olingan ma'lumotlarning siyraklashtirilishini amalga oshiradi.</p>
<p>Сигнализация при передаче данных (сигнализация) Ma'lumotlar uzatishdagi signalizatsiya (signalizatsiya)</p>	<p>Обмен управляющими сообщениями данных между различными пунктами сети передачи данных.</p> <p>Ma'lumotlar uzatish tarmog'ining turli punktlari o'rtasida ma'lumotlarning boshqaruvchi xabarlari almashinuvi.</p>
<p>Система передачи данных Ma'lumotlar uzatish tizimi</p>	<p>Система телекоммуникаций, обеспечивающая передачу данных.</p> <p>Ma'lumotlar uzatishni ta'minlaydigan telekommunikatsiyalar tizimi.</p>
<p>Скорость передачи слов данных</p>	<p>Величина, измеренная числом слов данных, переданных в единицу времени.</p>

<p>Ma'lumotlar so'zlarini uzatish tezligi</p>	<p>Vaqt birligida uzatilgan ma'lumotlar so'zlarining soni bilan o'lchanadigan kattalik.</p>
<p>Соединения межсетевые (канал) Tarmoqlararo ulanishlar (kanal)</p>	<p>Технологическое взаимодействие между сетями телекоммуникаций различных операторов телекоммуникаций, обеспечивающее передачу и прием информации между пользователями.</p> <p>Foydalanuvchilar o'rtasida axborotni uzatish va qabul qilishni ta'minlovchi turli telekommuni-katsiyalar operatorlarining telekommunikatsiyalar tarmoqlari o'rtasidagi texnologik o'zaro hamkorligi.</p>
<p>Техническая возможность предоставления доступа к сети передачи данных Ma'lumotlar uzatish tarmog'idan foydalanishning texnik imkoniyati</p>	<p>Одновременное наличие незадействованной смонтированной емкости узла связи, в зоне действия которого запрашивается подключение пользовательского (оконечного) оборудования к сети передачи данных, и незадействованных линий связи, позволяющих сформировать абонентскую линию связи между узлом связи и пользовательским (оконечным) оборудованием.</p> <p>Harakatga keltirilmagan aloqa tugunining montaj qilingan sig'iminin bir vaqtda mavjudligi, uning harakat doirasida foydalaniluvchi (chetki) uskunaning ma'lumotlar uzatish tarmog'iga ulanishi so'raladi va aloqa tuguni hamda foydalaniluvchi (chetki) uskuna o'rtasida aloqa abonent liniyasini shakllantirishga imkon beruvchi harakatga keltirilmagan aloqa liniyalari.</p>
<p>Технология Ethernet Ethernet texnologiyasi</p>	<p>Технология локальной компьютерной сети, обеспечивающая передачу сигналов на скорости до 10 Mbit/s и использующая в качестве</p>

	<p>метода доступа узлов к сетевым ресурсам метод множественного доступа с опросом состояния каналов и обнаружением конфликтов.</p> <p>Signallarni 10 Mbit/s gacha tezlikda uzatishni ta'minlaydigan va kanallar holatini so'rash hamda nizolarni aniqlash bilan ko'plab foydalanish metodidan tarmoq resurslaridan tugunlarning foydalana olish metodi sifatida foydalaniladigan lokal kompyuter tarmoq texnologiyasi.</p>
<p>Технология Frame Relay Frame Relay texnologiyasi</p>	<p>Высокоскоростная технология, основанная на коммутации пакетов, для передачи данных между интеллектуальными оконечными устройствами типа маршрутизаторов или других устройств, работающих в сети Frame Relay со скоростью от 56 kbit/s до 1,544 Mbit/s и выше.</p> <p>Marshrutizatorlar turidagi intellektual chetki qurilmalar yoki <i>Frame Relay</i> tarmog'ida 56 kbit/s dan 1,544 Mbit/s gacha va undan yuqori tezlik bilan ishlaydigan boshqa qurilmalar o'rtasida ma'lumotlar uzatish uchun paketlarni kommutatsiya qilish uchun asoslangan yuqori tezlikli texnologiya.</p>
<p>Трафик Trafik</p>	<p>Поток сообщений в сети передачи данных, загрузка сети.</p> <p>Ma'lumotlar uzatish tarmog'idagi xabarlar oqimi, tarmoq yuklanishi.</p>
<p>Узел коммутации каналов передачи данных (узел коммутации каналов) Ma'lumotlar uzatish kanallarining kommutatsiya</p>	<p>Совокупность устройств, сосредоточенных в одном месте и объединенных общим устройством управления, с помощью которых осуществляется коммутация каналов передачи данных.</p> <p>Bir joyda yig'ilgan va ma'lumotlar</p>

<p>tuguni (kanallar kommutatsiyasining tuguni)</p>	<p>uzatish kanallarini kommutatsiya qilish amalga oshiriladigan umumiy boshqaruv qurilmasi yordamida birlashtirilgan qurilmalar majmui.</p>
<p>Узел коммутации сообщений данных (узел коммутации сообщений) Ma'lumotlar xabarlarining kommutatsiya tuguni (xabarlar kommutatsiyasining tuguni)</p>	<p>Совокупность устройств, сосредоточенных в одном месте и объединенных общим устройством управления, с помощью которых осуществляется коммутация сообщений.</p> <p>Bir joyda yig'ilgan va xabarlarini kommutatsiya qilish amalga oshiriladigan umumiy boshqaruv qurilmasi yordamida birlashtirilgan qurilmalar majmui.</p>
<p>Узел связи сети передачи данных Ma'lumotlar uzatish tarmog'ining aloqa tuguni</p>	<p>Средства связи, выполняющие функции систем коммутации.</p> <p>Kommutatsiya tizimlari funksiyasini bajaradigan aloqa vositalari.</p>
<p>Услуга службы передачи данных Ma'lumotlar uzatish xizmati xizmatlari</p>	<p>Продукт деятельности оператора (операторов) телекоммуникаций по приему и передаче данных.</p> <p>Telekommunikatsiyalar operatori (operatorlari) ning ma'lumotlarni qabul qilish va uzatish bo'yicha faoliyati mahsuli.</p>
<p>Устройство автоматического вызова при передаче данных Ma'lumotlarni uzatishda avtomatik chaqiruv qurilmasi</p>	<p>Устройство, с помощью которого осуществляется передача сигнала вызова получателю сообщения данных.</p> <p>Ma'lumotlar xabarining oluvchisiga chaqiruv signalini uzatishni amalga oshirishda yordam beruvchi qurilma.</p>
<p>Устройство защиты сигнала данных от ошибок (УЗО) Ma'lumotlar signalini xatolardan himoyalash qurilmasi (XHQ)</p>	<p>Устройство для уменьшения числа ошибок в сигнале данных.</p> <p><i>Примечание</i> – УЗО присваивается название в зависимости от вида канала, в котором производится защита от ошибок, например, телеграфное УЗО, а также от числа каналов, например, групповое УЗО.</p> <p>Ma'lumotlar signalida xatolar sonini</p>

	<p>ka-maytirish uchun qurilma.</p> <p><i>Izoh</i> –XHQ kanal turiga bog‘liq holda nom beriladi, unda xatolardan himoyalash amalga oshiriladi, masalan, telegraf XHQ, shuningdek, kanallar soniga ko‘ra, masalan, guruhli XHQ.</p>
<p>Устройство преобразования сигнала данных (УПС) Ма’lumotlar signalini o‘zgartirish qurilmasi (SO‘Q)</p>	<p>Устройство, в котором сигнал данных приводится к виду, обеспечивающему его передачу по каналу телекоммуникаций или по каналу передачи сигналов телекоммуникаций.</p> <p><i>Примечание</i> – В УПС совершается обратное преобразование, при котором сигнал, поступивший от удаленного УПС, приводится к исходному виду (УПС различают по видам: акустическое УПС, телеграфное УПС).</p> <p>Ма’lumotlar signalini telekommunikatsiyalar kanali bo‘yicha yoki telekommunikatsiyalar signallarini uzatish kanali bo‘yicha uzatishni ta‘minlaydigan turga keltirilgan qurilma.</p> <p><i>Izoh</i> – Ма’lumotlar signalini o‘zgartirish qurilmasida (SO‘Q) teskari o‘zgartirish amalga oshiriladi, bunda uzoqdagi SO‘Qdan kelib tushgan signal dastlabki holatga keltiriladi (SO‘Q akustik SO‘Q, telegraf SO‘Q turlari bo‘yicha bo‘linadi).</p>
<p>Устройство преобразования сигнала данных аналоговое Ма’lumotlar signalini o‘zgartirishning analog qurilmasi</p>	<p>Устройство преобразования сигнала данных, предназначенное для работы с аналоговым сигналом данных.</p> <p>Ма’lumotlarning analog signallari bilan ishlash uchun mo‘ljallangan ma’lumotlar signalini o‘zgartirish qurilmasi.</p>
<p>Циклическая проверка четности с</p>	<p>Схема определения ошибок в передаче данных, при которой на основе</p>

<p>избыточностью Ortiqlikka ega juftlikni davriy tekshirish</p>	<p>полиномиального алгоритма вычисляется контрольная сумма передаваемого модуля данных. <i>Примечание</i> – Контрольная сумма передается вместе с данными. Polinomli algoritm asosida ma'lumotlar uzatilayotgan modulining nazorat yig'indisi hisoblab chiqilganda, ma'lumotlarni uzatishda xatolarni aniqlash schemasi. <i>Izoh</i> – Nazorat yig'indisi ma'lumotlar bilan birga uzatiladi.</p>
--	--

QISQARTMALAR RO‘YHATI

AChX	- Amplituda chastota xarakteristikasi
BQ	- Boshqaruvchi qurilma
BRS	- Berilgan raqamli signal
BFM	- Binar faza modulyatsiyasi
BChX	- Bouz Choudxuri Xokkengem
GQ	- Guruhli qurilmalar
DMU	- Diskret ma'lumotlarni uzatish
DMUT	- Diskret ma'lumotlar uzatish tizimi
DTQ	- Diskret tasodifiy qiymat
DXU	- Diskret xabar uzatish
IAM	- Impuls amplituda modulyatsiyasi
IVM	- Impuls vaqt modulyatsiyasi
IDM	- Impuls davomiyligi modulyatsiyasi
IQ va A	- Impulslarni qo'shish va ayirish
IKM	- Impuls kod modulyatsiyasi
IFM	- Impuls faza modulyatsiyasi
ICHM	- Impuls chastota modulyatsiyasi
IE	- Inersiya elementi
KAM	- Kvadratura-amplituda modulyatsiya
KAFM	- Kombinatsion amplituda-faza modulyatsiyasi
KDK	- Kengaytirilgan diskret kanal
KFM	- Kvadraturali fazoviy modulyatsiya
MRS	- Ma'lumotlarning raqamli signali
MUT	- Ma'lumotlarni uzatish tizimi
NFM	- Nisbiy fazo modulyatsiyasi
OM	- Oraliq moslashtirish
PK	- Personal kompyuterlar
SA	- Signal analizatori
SI	- Sinxroimpulslar
SISh	- Sinxroimpuls shakllantirgich
SQ	- Sinxronizatsiya qurilmasi
SKK	- Signal-kodli konstruksiya
SO'Q	- Signallarni o'zgartirish qurilmasi
S'HQ	- Signal hosil qiluvchi
S'HQQ	- Signal hosil qiluvchi qurilmalar
TG	- Takt generatori
TI	- Taktli impulslar

O‘K	- O‘rama kod
FD	- Fazoviy diskriminator
FChX	- Faza chastota xarakteristikasi
XM	- Xabar manbasi
XSO‘	- Xabarni signalga o‘zgartirgich
XTI	- Xalqaro telekommunikatsiya ittifoqi
XHQ	- Xatodan himoyalovchi qurilma
SS	- Siklli sinxronizatsiya
ChB	- Chastotalarni bo‘luvchi
ESQ	- Elementli sinxronizatsiya qurilmasi

INGLIZCHA QISQARTMALAR

ATM	- Asynchronous Transfer Mode	- Uzatishning asinxron rejimi
ADSL	- Asymmetric Digital Subscriber Line	- Asimmetrik raqamli abonent liniyasi
ARSO 25	- Association of Public Safety Communications Officials International	- Ommaviy xavfsizlik alokasi mutasaddilari xalkaro assotsiatsiyasi
CAP	- Carrierless Amplitude and Phase Modulation	- Tashuvchisiz amplituda va fazali modulyatsiya
CD	- Compact Disc	- Kompakt disk
CDMA	- Code Division Multiple Access	- Kodli ajratishli ko‘plab ruxsat etish texnologiyasi
CDMA-2000	- Code Division Multiple Access-2000	- 3GPP2 ishlab chiqqan uchinchi avlod sotali aloqa standarti
CD-ROM	- Compact Disc Read-Only Memory	- Xotiradan o‘quvchi kompakt disk
COFDM	- Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing	- Kodlangan ortogonal chastotali bo‘lingan multiplekslash
CRC	- Cyclic redundancy check	- Anqlikni nazorat qiluvchi davriy kodlar
CS-ACELP	- Carrier Sence - Algebraic Code Excited Linear Prediction	- Tashuvchiga bog‘liq algebraik kodga sezuvchan liniyaviy bashoratlash
DMT	- Discrete Multi Tone	- Diskret multi ton
DSL	- Digital Subscriber Line	- Raqamli abonent liniya
DVB	- Digital Video Broadcasting	- Raqamli video eshittirish
DVB-RCS	- Digital Video Broadcasting -Return Channel via Satellite	- Raqamli Video Uzatish – Sun’iy yulduz orqali teskari kanal
DVB-T	- Digital Video Broadcasting	- Terrestrial – Raqamli video uzatish – yer usti bo‘ylab
FR	- Frame Relay	- Kadrlarni retranslyatsiya qilish
GIF	- Graphics Interchange	- Tasvirlarni almashtirish

	Format	uchun format
GSM	- Group Special for Mobile	- Maxsus mobil aloqa guruhi
HDTV	- High Definion television	- Yuqori tiniqlikli televidenie
ISDN	- Integrated Services Digital Network	- Integratsiyalangan xizmat ko'rsatish raqamli tarmog'i
JPEG	- Joint Photographic Experts Group	- Qo'shma fotografiya ekspertlar guruhi
LDPC	- Low-density parity-check code	- Kam zichlashgan juftliklarga tekshirish kodi
LLR	- Log-Likelihood Ratio	- Xaqiqatga o'xshashlik munosabat logarifmlari
LZ77	- Lempel-Ziv 1977	- Lempel-Ziv 1977
LZB	- Lempel-Ziv Bell 1987	- Lempel-Ziv Bell 1987
LZFG	- Lempel-Ziv Fial va Green 1989	- Lempel-Ziv Fial va Green 1989
LZH	- Lempel-Ziv Brent 1987	- Lempel-Ziv Brent 1987
LZJ	- Lempel-Ziv Jakobson 1985	- Lempel-Ziv Jakobson 1985
LZMW	- Lempel-Ziv Miller va Vegman 1984	- Lempel-Ziv Miller va Vegman 1984
LZR	- Lempel-Ziv Roden 1981	- Lempel-Ziv Roden 1981
LZW	- Lempel-Ziv Velch 1984	- Lempel-Ziv Velch 1984
LZT	- Lempel-Ziv Tomas 1987	- Lempel-Ziv Tomas 1987
PSD	- Power Spectral-Density	- Energetik spektrlarni qiyoslash
QAM	- Quadrature Amplitude Modulation	- Kavadraturali amplitudaviy modulyatsiya
QoS	- Quality of Service	- Sifatli xizmat ko'rsatish
RLE	- Run Length Encoding	- Kodlash uzunligini shakllantirish algoritmi
RSC	- O'ralgan rekursiv usul	
SBC	- Session Border Controller	- Chegaraviy seanslar kontrolleri
SDSL	- Bir liniyali raqamli abonent liniyasi	
SISO	- Soft Input Soft Output	- Yumshoq kirish va chiqish
TC-PAM	- Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation	- Trellis kodlashga ega impulsli amplituda-faza

TCP/IP	- Transmission Control Protocol / Internet protocol	modulyatsiyasi - Uzatishni boshqarish protokoli / Internet protokol
TIFF	- Tagged Image File Format	- Yuqori sifatli grafik fayl formati
UMTS	- Universal Mobile Telecommunications Systems	- Universal mobil telekommunikatsion tizim (3G avlod standarti)
VDSL xDSL	- O'ta yuqori tezlikli raqamli abonent liniyasi - Digital Subscriber Line	- bu yerda x - DSL yuqori tezlikdagi raqamli abonent liniyasi
KWE	- KeyWord Encoding	- Kodlash kaliti
MPEG	- Moving Picture Experts Group	- Xarakatlanuvchi tasvir ekspert guruhi
HDSL	- Yuqori tezlikli raqamli abonent liniyasi	

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YHATI

- 1 S.K. G’aniyev, Sh.R. Gulomov. Axborot nazariyasi va kodlash. O’quv qo’llanma. – T.: «Aloqachi», 2017, 100 bet.
- 2 S.K. G’aniyev. Axborot nazariyasi va kodlash. Ma’ruzalar matni. TATU, 2014.
- 3 J.T. Chitode. Information theory and Coding. Repra India ltd, 50/2 TTC, MIDC, Mahape, Navi Mumbai. India, 2014.
- 4 Mark Kelbert, Yuri Suhov. Information theory and Coding. Cambridge University Press Cambridge, UK,USA 2013.
- 5 Djuraev R.X. Pomexoustoychivye kody v telekommunikatsionnykh sistemax. Ucheb. Posobie - TUIT, Tashkent 2013.
- 6 Tarasenko Ye.V Osnovi peredachi dannix (chast 1). Metodicheskie ukazaniya po vipolneniyu prakticheskix rabot. TUIT. 63 s. Tashkent, 2013.
- 7 A.A. Abduazizov, M.M. Muxitdinov, Ya.T. Yusupov Radiotexnik zanjirlar va signallar. “Shams ASA” MChJ, Toshkent 2013.
- 8 Abbas El Gamal, Young-Han Kim Network Information Theory. Cambridge University Press, 2011.
- 9 N.B. Usmanova Ma’lumot uzatish tizimlari va tarmoqlari. O’quv qo’llanma. Toshkent TATU. 2006.
- 10 R.X. Djuraev, Sh.Yu. Djabbarov «Hujjatli elektraloqa tizimlari va tarmoqlari» O’quv qo’llanma. Toshkent. TATU 2006.
- 11 Verner M. Osnovy kodirovaniya. Uchebnik dlya VUZov. TEXNOSFERA – Moskva, 2006.
- 12 R.X. Djuraev, Sh.Yu. Djabbarov Xatoliklar paketini to’g’rilovchi Fayra va Rid-Solomon kodlarini o’rganish (Hujjatli elektraloqa tizimlari va tarmoqlari fanidan amaliyot mashg’ulotlariga uslubiy ko’rsatma). “Aloqachi” nashriyot – matbaa markazida chop etilgan. Toshkent 2005.
- 13 R.X. Djuraev, Sh.Yu. Djabbarov Zamonaviy telefon modemlari va ularning ko’rsatkichlarini hisoblash (Hujjatli elektraloqa tizimlari va tarmoqlari fanidan amaliyot mashg’ulotlariga uslubiy ko’rsatma). “Aloqachi” nashriyot – matbaa markazida chop etilgan. Toshkent 2005.
- 14 Morelos-Saragosa R. Iskusstvo pomexoustoychivogo kodirovaniya. Metody, algoritmy, primeneniye –

- TEXNOSFERA – Moskva, 2005.
- 15 Kushakova N.G. Metodicheskie ukazaniya dlya vipolneniya labratornix rabot na osnove PEVM. «Slovarnie metodi arxivatsii Ziva –Lempelya» TUIT. Tashkent, 2005
 - 16 V.P.Dyakonov. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Osnovy primeneniya. Polnoe rukovodstvo polzovatelya. SOLON-Press, 2004.
 - 17 R.X. Djuraev, Sh.Yu. Djabbarov Metodicheskie ukazaniya k prakticheskim zanyatiyam po kursu Sistemy telematiki «Siklicheskie kodы BChX i Rida-Solomona». Tashkent 2001

MUNDARIJA

KIRISH.....	3
1-bob. FANNING ASOSIY TUSHUNCHALARI, ATAMALAR. AXBOROT VA ENTROPIYA.....	5
1.1. Axborot, entropiya va qo‘shimcha bit. Aloqa tizimlari va axborot teoremasi.....	5
1.2. Diskret manbaning axborot tavsiflari. Diskret manbalarini tasniflari.....	13
1.3. Manbani kodlash. Axborot hajmi. Diskret kanalda kodlash. O‘zaro bog‘liq axborot va uning xususiyatlari.....	25
2-bob. AXBOROTNI KODLASH, ARXIVLASH VA SIQISH.....	31
2.1. Axborotni kodlash usullari. Shennon – Fano, Xaffman teoremalari. Samarali kodlash usullaridan foydalanish.....	31
2.2. Ma’lumot (matn, audio, video)larni siqish. Yo‘qotishsiz va yo‘qotishli siqish usullari.....	45
2.3. Zamonaviy modemlarda siqish algoritmlari.....	53
3-bob. AXBOROTNI UZATISH TIZIMLARIDA ISHONCHLILIK. SHOVQINBARDOSH KODLASH.....	67
3.1. Shovqinli kanalda kodlash. Shennon teoremasi.....	67
3.2. Shovqinbardosh kodlash. Chiziqli blokli kodlar.....	69
3.3. Siklik kodlar. Goley va Xemming kodlari.....	75
3.4. O‘rama kodlar.....	86
3.5. Ikkilik va ikkilik bo‘lmagan BChX kodlar.....	103
3.6. Rid - Solomon kodlari.....	109
3.7. Fayra kodi.....	129
3.8. Yuqori aniqlikga ega kodlar. Modifikatsiya. Telekommunikatsiya tizimlarida ishonchlilikni oshirish choralari va usullari.....	147
4-bob. ZAMONAVIY SHOVQINBARDOSH KODLASH ALGORITMLARI.....	159
4.1. Kaskad kodlar. Takomillashgan va birlashgan kodlar....	159
4.2. Turbo kodlar. Yengil yechimli dekodlash.....	172
4.3. Shovqinbardosh kodlarni telekommunikatsiyada qo‘llanishi.....	191

4.4.	Zamonaviy shovqinbardosh kodeklarda sinxronizatsiya.....	196
	5-bob. AXBOROTNI UZATISH TIZIMLARIDA MODULYATSIYA VA MANIPULYATSIYA.....	213
5.1.	Panjara tusidagi kodli modulyatsiya. Ko‘p darajali kodli modulyatsiya.....	213
5.2.	Bitlarni aralashtirish bilan amalga oshiriladigan kodli modulyatsiya. Panjarada turbo kodli modulyatsiya.....	219
5.3.	Zamonaviy modemlarda modulyatsiya va demodulyatsiya usullari.....	224
	ATAMALAR VA TA’RIFLAR RO‘YHATI.....	249
	QISQARTMALAR LUG‘ATI.....	289
	FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YHATI.	294

Axborot va kodlash nazariyalari
5350100 “Telekommunikatsiya
texnologiyalari” (Telekommunikatsiyalar,
Teleradioeshittirish, Mobil tizimlari)
ta’lim yo‘nalishi talabalari uchun darslik

“MUT va T” kafedrasining 2017 yil “11”
04 (№32-son bayonnoma) majlisida ko‘rib
chiqildi va chop etishga tavsiyalandi.

“Telekommunikatsiya texnologiyalari”
fakultetining ilmiy-uslubiy kengashida
ko‘rib chiqildi va chop etishga
tavsiyalandi. 2017 yil “18” 04 № 8- sonli
bayonnoma.

TATU ilmiy-uslubiy kengashida ko‘rib
chiqildi va chop etishga tavsiyalandi. 2017
yil “4” may, №8(99) -sonli bayonnoma

Tuzuvchilar: R.X. Djuraev
Sh.Yu. Djabbarov
S.O. Maxmudov
J.B. Baltaev

Taqrizchilar: Yu.K. Kamalov
M.R. Qayumov
D.A. Davronbekov

Ma’sul
muxarrir: B.M. Umirzakov

Musahhih: N.D. Yulanova