

GANIYEV SALIM KARIMOVICH
G'ULOMOV SHERZOD RAJABOYEVICH

AXBOROT NAZARIYASI VA KODLASH



O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA'LIM, FAN VA
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT
AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

GANIYEV SALIM KARIMOVICH
G'ULOMOV SHERZOD RAJABOYEVICH

AXBOROT NAZARIYASI VA KODLASH

O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar
vazirligi tomonidan darslik sifatida tavsiya etilgan

prof. S.K. Ganiyev tahriri ostida

Toshkent
"METODIST NASHRIYOTI"
2024

UDK: 003.295:621.391(075)

BBK: 32.811.4ya7

G 19

Ganiyev S.K.

Axborot nazariyasi va kodlash/ G'ulomov SH.R./ Darslik.
- Toshkent: "METHODIST NASHRIYOTI", 2024. - 132 b.

"Axborot nazariyasi va kodlash" fani bo'yicha darslik tayanch oliy o'quv yurti Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetining "Axborot xavfsizligi" kafedrasida professor-o'qituvchilari tomonidan tayyorlangan bo'lib, unda informatsiya, informatsion jarayonlar, sistemalar, texnologiyalar; informatsiyaning miqdoriy baholash, entropiya; shartli entropiya va birlashma entropiya; nisbiy entropiya va xabarlarining ortiqchaligi; xalalli va xalalsiz aloqa kanallari bo'yicha informatsiyani uzatish tezligi va aloqa kanalining o'tkazish qobiliyati; informatsiyani zichlash; kodlar, kodlash va dekodlash, kodlash nazariyasining asosiy tushunchalari; samarali notekis kodlarni qurishning Shennon-Fano va Xaffimen algoritmlari; butun sonlarni kodlashda ishlatiladigan Eliasning samarali notekis kodlari; xalallarga bardosh kodlash; kodning tuzatish qobiliyati bilan kod masofasi orasidagi bog'liqlik; berilgan tuzatish qobiliyatli kodlarni qurish; chiziqli blok kodlar; Xemming va Siklik kodlar, ularni kodlash usullari va vositalari; uzluksiz va zanjir rekurrent kodlar xususida ma'lumotlar berilgan. Darslikdan analog shakldagi signallarni raqamli shaklga va raqamli shakldagi signallarni analog shaklga keltirish; avtomatlar nazariyasi; kod o'zgartirgichlari hamda kodlash yordamida informatsiyani himoyalash xususidagi materiallar ham o'rin olgan.

Taqrizchilar:

F.R.Nurjanov - TDAU "Qishloq xo'jaligini raqamlashtirish va axborot-texnologiyalari masalalari bo'yicha" prorektori t.f.n.

A.Ne'matov - TATU "Multimediya texnologiyalari" kafedrasida dotsenti

O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 2022-yil 13-maydagi 166-sonli buyrug'iga asosan nashr etishga ruxsat etilgan.

ISBN 978-9910-03-184-7

© Ganiyev S.K., G'ulomov SH.R., 2024.
© "METHODIST NASHRIYOTI", 2024.

MUQADDIMA

Ehtimollik nazariyasi va matematik statistikaga asoslanuvchi informatsiya nazariyasi hozirda jiddiy va yetarlicha universal fanga aylandi. Ushbu nazariya o'lchash, nazoratlash va boshqarish jarayonlarini tahlillashda keng qo'llaniladi. Ushbu nazariyaning qoidalari fikrlash, anglash, psixologik jarayonlarni hamda ijtimoiy hodisalarni tadqiqlashda yanada kengroq ishlatiladi.

Informatsiya nazariyasi rivojining avji 1947-1948 yillarga amerika matematigi va injeneri K. Shennon tomonidan ilmiy ishlar chop etilganidan keyingi vaqtlarga to'g'ri keladi. Ushbu ilmiy ishlarda informatsiyani miqdoriy baholashga doir asosiy qoidalar ta'riflangan.

Informatsiya nazariyasining rivoji aloqa texnikasining rivoji bilan uzviy bog'langan. Yigirmanchi asrning birinchi yarmida chop etilgan ilmiy ishlar aloqa tizimining asosiy xarakteristikalarini va informatsiyani uzatish sifatini miqdoriy baholashni ilmiy asoslashga bag'ishlangan. Ushbu ilmiy ishlarda informatsiya miqdorini baholashning logarifmik o'lchovi, signallarni diskretlash xususidagi teorema hamda aloqa kanalining o'tkazish qobiliyatini baholash bo'yicha qator amaliy tavsiyalar taklif etilgan.

Axborot nazariyasi va kodlash fanining masalalari quyidagilar:

- informatsiyani saqlashga mo'ljallangan xotira qurilmasining hajmini aniqlash;
- berilgan informatsiya simvollarining minimal soni orqali uzatishga imkon beruvchi kodlashning eng tejimli usullarini qidirish;
- uzatilayotgan informatsiyaning kechikishsiz va buzilishsiz uzatilishini ta'minlovchi aloqa kanalining o'tkazish qobiliyatini aniqlash;
- ma'lumotlarni zichlash;
- kodlashdan informatsiyani kriptografik berkitish vositasi sifatida foydalanish.

O'quvchi ixtiyoriga havola etilayotgan kitob 8 ta bobdan iborat.

Kitobning 1-bobida "informatsiya" tushunchasi, uning axborot (ma'lumot) tushunchalaridan farqi, informatsiyaning adekvatligi masalasi bayon etilgan. Informatsion jarayonlar, sistemalar va texnologiyalar tavsifi keltirilgan.

Kitobning 2-bobi informatsiyani miqdoriy baholash masalalariga bag'ishlangan bo'lib, informatsiyani struktura, statistik va semantik o'lchovlari bayon etilgan. Informatsiyani statistik o'lchoviga alohida

e'tibor bergan holda, entropiya, shartli entropiya va birlashma entropiya, nisbiy entropiya va xabarlar ortiqchaligi misollar asosida tavsiflangan. Analog shakldagi informatsiyani raqamli shaklga va raqamli shakldagi informatsiyani analog shaklga o'zgartirish masalalari bayon etilgan.

Kitobning 3-bobida informatsiyani uzatish masalasi bayon etilib, xalalsiz va xalalli aloqa kanallari orqali informatsiyani va signallarni uzatishning o'ziga xos xususiyatlari hamda aloqa kanalining o'tkazish qobiliyati misollar asosida tavsiflangan. Ma'lumotlarni zichlash masalasi ham shu bobdan o'rin olgan.

Kodlar, kodlash va dekodlash masalalari, samarali notekis kodlarni qurishning Shennon-Fano, Xaffmen algoritmlari, ularning afzalliklari va kamchiliklari hamda Eliasning musbat butun sonlarning universal kodlari 4-bobda ko'rilgan.

Kitobning 5-bobi xalallarga bardosh kodlash masalasiga bag'ishlangan bo'lib, xalallarning umumiy xarakteristikasi, kodning tuzatish qobiliyati bilan kod masofasi orasidagi bog'liqlik va berilgan tuzatish qobiliyatli kodlarni qurish masalalari misollar asosida tavsiflangan.

Chiziqli blok-kodlar – Xemming va siklik kodlar, ularni kodlash va dekodlash muolajalari, siklik kodlarni kodlash va dekodlash qurilmalari hamda teskari bog'lanishli sistemalar kitobning 6-bobida tavsiflangan. Goley, BCHX, Rid-Solomon kodlari xususidagi ma'lumotlar ham shu bobdan o'rin olgan.

Kitobning 7-bobi uzluksiz-rekurrent (сверточные, zanjir) kodlarga bag'ishlangan bo'lib, avtomatlar nazariyasi asosida rekurrent kodlarni tuzish va dekodlash masalalari batafsil bayon etilgan. Zanjir rekurrent kodlarni tuzish va dekodlash misol asosida tavsiflangan.

Kitobning 8-bobida kod o'zgartgichlari tavsiflangan bo'lib, to'g'ri koddan teskari va qo'shimcha kodlarni hosil qilish, o'nli kodni ikkilik-o'nlik kodga va ikkilik-o'nlik kodni o'nli kodga o'zgartgichlar hamda Grey kodi bayon etilgan. Kodlash yordamida informatsiyani himoyalash masalasi ham shu bobdan o'rin olgan.

Ilovalarda axborot nazariyasi va kodlash fanida misollar yechishga taalluqli jadvallar hamda ushbu fan bo'yicha atamalarning rus, o'zbek va ingliz tillaridagi izohli lug'ati keltirilgan.

1-BOB. INFORMATSIYA, INFORMATSION JARAYONLAR, SISTEMALAR VA TEXNOLOGIYALAR

1.1. "Informatsiya" tushunchasi

Informatsiya atamasi, lotincha *information* so'zidan kelib chiqib, bildirish, ish mazmunini bayon etish tushunchalarini beradi. Kibernetika fanining asoschisi Norbert Viner o'zining asarida *informatsiya materiya emas, energiya emas, bu - informatsiya* deb yozadi. Aytib o'tish joizki, informatsiya doimo moddiy – energetika shaklida signal ko'rinishida namoyon bo'ladi.

Texnika vositalari yordamida qidirish, qabul qilish, saqlash, ishlov berish, uzatish mumkin bo'lgan shaklga keltirilgan har qanday informatsiya *ma'lumot* deb ataladi.

Informatsiya va *ma'lumot* *Informatika* fanining asosiy tushunchalari hisoblanadi. *Ushbu tushunchalar orasida farq bormi?* degan savol tug'ilishi tabiiy. Savolga javob berish uchun quyidagi misolni ko'raylik:

Do'stingiz bir varaq qog'ozga o'nta telefon tartib raqamini yozib sizga ko'rsatdi, deylik. Siz ko'rsatilgan raqamlarni *ma'lumot* sifatida qabul qilasiz. Chunki siz bu raqamlardan foydalana olmaysiz. Agar do'stingiz telefon tartib raqamining to'g'risiga firmaning nomi va faoliyat turini yozsa, unda siz uchun bu *ma'lumotlar* informatsiyaga aylanadi, chunki kelgusida undan foydalanish mumkin.

Informatsiya tushunchasiga umumiy falsafiy ta'rifdan (voqe' dunyoning in'ikosi) tor praktik ta'rifgacha (saqlash, uzatish va ishlov berish ob'ekti hisoblanuvchi barcha *ma'lumotlar*) ko'pgina ta'rif berilgan.

Fikrimizcha, quyidagi ta'rif informatsiya mohiyatini to'laroq aks ettiradi.

Informatsiya – muayyan ob'ekt xususidagi bilimlarimiz noaniqlik darajasini pasaytirishga imkon beruvchi har qanday axborot (*ma'lumot*).

Foydalanuvchi uchun informatsiyaning muhim xarakteristikalaridan biri – uning adekvatligi.

Informatsiyaning adekvatligi – olingan informatsiya yordamida yaratilgan obrazning real obyekt, jarayon, hodisa va shunga

o'xshashlarga mosligining ma'lum darajasi. Informatsiyaning adekvatligi darajasi, masalani yechishda to'g'ri yo'l tanlashga katta ta'sir qiladi.

Ma'lumki, real hayotda informatsiyaning to'laqonli adekvat bo'lishiga ishonish qiyin, chunki doimo qaysi bir darajadagi noaniqlik uchrab turadi. Masalan, Siz o'rta maktabni muvaffaqiyatli bitirdingiz va "Axborot xavfsizligi" yo'nalishi bo'yicha oliy ma'lumot olmoqchisiz. Do'stlaringiz bilan shu xususida gaplashganda Siz oliy o'quv yurtlari to'g'risida turlicha ma'lumot olasiz, biroq olingan ma'lumotlar to'g'ri xulosa chiqarishingizda yetarli emas, chunki informatsiya adekvat emas. Shubhasiz, aniq ma'lumot olish uchun ma'lumotnomaga murojaat qilasiz. Undan mukammal ma'lumot olib, o'quv yurtini tanlaysiz. Bu adekvat informatsiya bo'ladi.

Informatsiyaning adekvatligi uchta shaklda ifodalanishi mumkin: semantik, sintaktik, pragmatik.

Semantik (ma'noli) adekvatlik – obyektning uning obraziga muvofiqlik darajasini belgilaydi. Semantik nuqtai nazar informatsiyaning ma'noli mazmunini hisoblashni ko'zda tutadi.

Bunda informatsiya aks ettirgan ma'lumotlar tahlillanadi, ma'nolar bog'liqligi ko'riladi. Bu shakl informatsiya xususida tushunchalar va tasavvurlarni shakllantirishga, ma'nosini, mazmunini aniqlashga, umumlashtirishga xizmat qiladi. Misol tariqasida informatsiyani kodlar orqali ifodalashni ko'rsatish mumkin.

Sintaktik adekvatlik – informatsiyaning mazmuniga tegmasdan, uning rasmiy-strukturaviy xarakteristikalarini ifodalaydi. Sintaktik darajada informatsiyani ifodalash usulida informatsiya eltuvchisi turi, uzatish va ishlash tezligi, ifodalash kodining o'lchamlari, ushbu kodlarni o'zgartirish aniqligi va ishonchliligi hisobga olinadi.

Informatsiyaning mazmuniga ahamiyat berilmaganligi sababli, bunday informatsiya ma'lumot deb ataladi.

Pragmatik (foydalanuvchanlik) adekvatlik – informatsiya bilan foydalanuvchining munosabatlarini aks ettiradi, informatsiyaning, uning asosida amalga oshiriladigan, boshqarish sistemasi maqsadiga muvofiqligini ifodalaydi. Informatsiyaning pragmatik xususiyatlari faqat informatsiya, foydalanuvchi va boshqarish maqsadlarining umumiyligida namoyon bo'ladi. Adekvatlikning ushbu shakli informatsiyadan amaliy foydalanish bilan bevosita bog'langan, shu

sababli ham foydalanuvchanlik xususiyatlari tahlillanadi.

1.2. Informatsion jarayonlar, sistemalar va texnologiyalar

Informatsiya o'z – o'zidan paydo bo'lmaydi, u informatsion jarayonlarda paydo bo'ladi. Informatsiyani qidirish, to'plash, saqlash, uzatish, ishlov berish va foydalanish bilan bog'liq jarayonlar *informatsion jarayonlar* deyiladi. Informatsiyani *qidirishning* quyidagi usullarini ko'rsatish mumkin:

- bevosita kuzatish;
- qiziqtiradigan masala bo'yicha mutaxassislar bilan muloqot;
- kerakli adabiyotlarni o'qish;
- video, teleprogrammalarini ko'rish;
- audio kasseta, radio eshittirishlarni eshitish;
- axborot – resurs markazlarida, arxivlarda ishlash;
- informatsion sistemalarga, kompyuter ma'lumotlarining baza va banklariga murojaat;
- boshqa usullar.

Informatsiyani *saqlash* usullari uning to'plagichlariga bog'liq. Jamoat uchun informatsiya axborot – resurs markazlarida, videotekalarda, fonotekalarda, arxivlarda, patent byurolarida, muzeylarda, rasm galereyalarida saqlansa, kompyuterda saqlashda esa ma'lumot bazalari va banklaridan, informatsion qidirish sistemalaridan, elektron ensiklopediyalaridan, mediatekalardan foydalaniladi. Informatsiyani *uzatish* jarayonida informatsiya manbai va qabul qiluvchisi qatnashadi: birinchisi informatsiyani uzatadi, ikkinchisi uni qabul qiladi. Ularning orasida informatsiyani uzatish kanali – aloqa kanali ishlaydi. Uzatish jarayonida informatsiya yo'qolishi yoki buzilishi mumkin. Shu sababli aloqa kanalini himoya qilish qurilmalari ishlatilishi lozim.

Informatsion sistema – berilgan maqsadga erishishda informatsiyani saqlash, unga ishlov berish va uzatish jarayonlarida foydalaniladigan vositalar, usullar va xodimlarning o'zaro bog'langan majmui.

Umuman, informatsion sistemani murakkab sistemalar safiga kiritish mumkin va uning tarkibi informatsion, texnik, matematik, dasturiy, tashkiliy va huquqiy ta'minotlardan iborat ekanligini tasavvur

etish mumkin.

Informatsion ta'minotga informatsiyani tasniflash va kodlashning yagona sistemasi, unifikatsiyalangan xujjatlar sistemasi, tashkilotda ishlatiluvchi informatsion oqim sxemalari hamda ma'lumotlar bazasini qurish metodologiyasi kiradi.

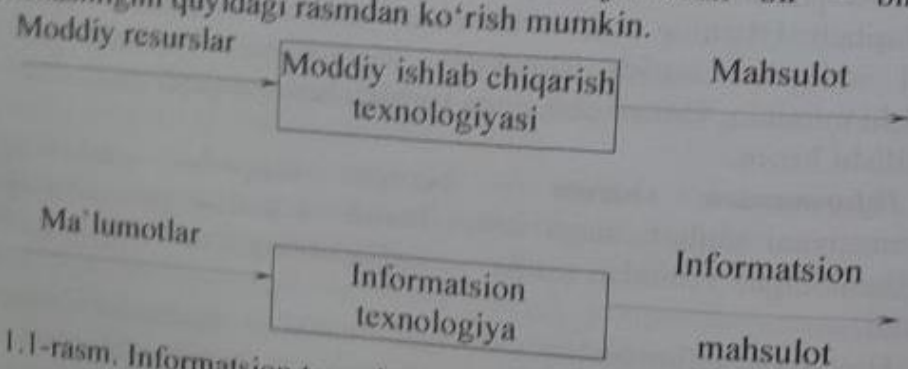
Texnik ta'minotga informatsion sistemaning ishlashini ta'minlovchi texnik vositalar kompleksi hamda bu vositalarga va texnologik jarayonlarga taalluqli xujjatlar kiradi.

Matematik va dasturiy ta'minotga informatsion sistema maqsadi va vazifalarini amalga oshiruvchi hamda texnik vositalar majmuini bir me'yorda ishlashini ta'minlovchi matematik modellar, metodlar, algoritmlar va dasturlar kiradi.

Tashkiliy ta'minotga informatsion sistemani yaratish va ishlatish jarayonida xodimlarning texnik vositalar bilan o'zaro munosabati tartibini belgilovchi usullar va vositalar kiradi.

Huquqiy ta'minotga informatsion sistemani yaratish, yuridik maqomini va ishlashini aniqlovchi, informatsiyani olish, o'zgartirish va undan foydalanish tartibini belgilovchi huquqiy me'yorlar kiradi.

Informatsiya jamiyat uchun elektroenergiya, neft, gaz, foydali qazilmalar va h. singari muhim resurslardan hisoblanadi. Moddiy ishlab chiqarish texnologiyasining maqsadi - inson yoki sistemaning ehtiyojini qondirish, maxsulot chiqarish bo'lsa, informatsion texnologiyaning maqsadi - inson taxlili asosida aniq amal bajarishga qaror qabul qilish uchun informatsiyani shakllantirish. Moddiy ishlab chiqarish va informatsion texnologiyalarning struktura jihatidan bir - biriga o'xshashligini quyidagi rasmdan ko'rish mumkin.



1.1-rasm. Informatsion texnologiyaning moddiy resurslarni ishlash texnologiyasiga o'xshashligi

Demak, informatsion texnologiya tushunchasiga quyidagicha ta'rif berish mumkin.

Informatsion texnologiya-ob'ekt, jarayon yoki xodisa holati xususidagi yangi sifatli informatsiyani (informatsion mahsulotni) olish maqsadida ma'lumotlarni (birlamchi informatsiyani) to'plash, ishlash va uzatish vositalari majmuasidan foydalanish jarayoni. Berilgan moddiy resursga turli texnologiyani qo'llab, turli mahsulot, buyum olishimiz mumkin. Bu informatsiyani ishlash texnologiyasiga ham taalluqlidir.

Misol:

“Oliy matematika” fanidan nazorat ishini bajarish uchun talaba dastlabki informatsiyani (masala qo'yilishini) ishlashda o'zining texnologiyasini qo'llaydi. Informatsion maxsulot (masala yechimi) talaba tanlagan yechish texnologiyasiga bog'liq. Odatda masala qo'lda yechiladi. Agar informatsion texnologiyadan foydalanilsa informatsion mahsulot boshqacha sifat kasb etadi. Informatsion texnologiyaning vazifalari bo'yicha quyidagi turlarini ko'rsatish mumkin:

- boshqarish;
- ofisni avtomatlashtirish;
- qaror qabul qilishni qo'llash;
- ekspert sistemalar.

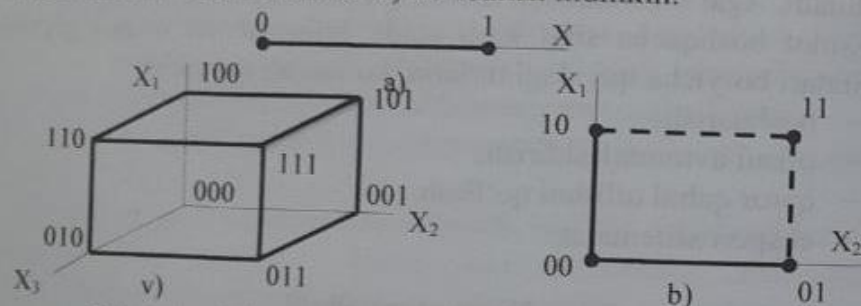
Nazorat savollari

1. “Informatsiya” nima?
2. Informatsiyaning axborotdan farqi.
3. Informatsiyaning adekvatligi.
4. Informatsion jarayonga ta'rif bering.
5. Informatsion sistemaga ta'rif bering.
6. Informatsion sistemaning strukturasini.
7. Informatsion texnologiyaga ta'rif bering.

2.1. Informatsiyaning struktura o'lchovi

Informatsiyaning struktura o'lchovidan foydalanilganda faqat xabarning diskret tuzilishini, undagi mavjud informatsion elementlar va ular orasidagi bog'lanishlar hisobga olinadi. Strukturaviy yondashishda informatsiyaning geometrik, kombinatorik va additiv o'lchovlari farqlanadi.

Geometrik o'lchov informatsion xabarning geometrik modelining parametrini (uzunligini, yuzasini, hajmini) diskret birliklarda o'lchashni faraz qiladi. Masalan, informatsiyaning geometrik modeli sifatida birlik uzunlikdagi chiziqni (2.1-rasm a – "0" yoki "1" qiymatni oluvchi bir xonali so'z), kvadratni (2.1-rasm b – ikki xonali so'z) yoki kubni (2.1-rasm v – uch xonali so'z) ko'rsatish mumkin.



2.1-rasm. Informatsiyaning geometrik modeli

Ushbu strukturalarda informatsiyaning mumkin bo'lgan maksimal qiymati modelning informatsion hajmini belgilaydi. Informatsion hajm barcha koordinatalar bo'yicha diskret qiymatlarning yig'indisi sifatida aniqlanadi.

Kombinatorik o'lchovda informatsiya miqdori elementlar (simvollar) kombinatsiyalari soni sifatida aniqlanadi. Informatsiyaning mumkin bo'lgan miqdori elementlarning mumkin bo'lgan birlashtirishlar, o'rin almashtirishlar va joylashtirishlar soniga mos keladi. Faqat "0" va "1" lardan tarkib topgan so'zlardagi simvollarni kombinatsiyalash so'z qiymatini o'zgartiradi.

Additiv o'lchoviga (Xartli o'lchoviga) muvofiq informatsiya miqdori ikkilik birliklarda – bitlarda o'lchanadi. Bunda sonning

teranligi (glubina) q va uzunligi n tushunchalari kiritiladi.

Sonning teranligi q – informatsiyani ifodalash uchun qabul qilingan elementlar (simvollar) soni. Sonning uzunligi n – berilgan kattalikdagi sonni ifodalash uchun zaruriy va yetarli pozitsiyalar (o'rinlar) soni.

Sonning berilgan teranligi va uzunligida ifodalanish mumkin bo'lgan sonlar soni $N = q^n$ ga teng. N kattalik informatsiya hajmini baholashda qulay hisoblanmaydi. Chunki, masalan, $N = 1$ bo'lganida xabar nulli informatsiyani eltadi. Oldindan xarakteri ma'lum bo'lgan xabarni olish esa hech nima bermaydi. Shu sababli, informatsiya miqdorini (bitlarni) hisoblashga imkon beruvchi logarifmik o'lchov kiritilgan (Xartli tomonidan).

$$I(q) = \log_2 N = n \cdot \log_2 q$$

Demak, informatsiyaning 1 biti sodir bo'luvchi yoki sodir bo'lmaydigan bitta elementar hodisaga mos keladi. Informatsiya miqdorining bunday o'lchovi qulay hisoblanadi, chunki u o'lchovni son orqali ifodalashga imkon beradi. Bunda informatsiya miqdori "1" yoki "0" ikkilik simvollarining soniga ekvivalent hisoblanadi.

Ta'kidlash lozimki, ba'zida sonning teranligi tushunchasi *sanoq sistemasining asosi* tushunchasi bilan almashtiriladi.

Misol:

Alfavit simvollarini ikkita sifat alomatlariga ega.

a) Xabar elementlarini 3,4,5 va 6 tadan kombinatsiyalab xabarlarning qanday miqdorini olish mumkin?

b) Bunday xabarlarning bitta elementiga informatsiyaning qanday miqdori to'g'ri keladi?

Yechish:

$$q = 2.$$

$$a) N_1 = 2^3 = 8; N_2 = 2^4 = 16; N_3 = 2^5 = 32; N_4 = 2^6 = 64.$$

$$b) I_1 = \log_2 8 = 3 \text{ bit}; I_2 = \log_2 16 = 4 \text{ bit}; I_3 = \log_2 32 = 5 \text{ bit};$$

$$I_4 = \log_2 64 = 6 \text{ bit}.$$

2.2. Informatsiyaning statistik o'lchovi. Entropiya

Informatsiyaning statistik nazariyasi K.Shennon tomonidan batafsil o'rganilgan. Yuz berish ehtimolligi birga yaqin bo'lgan tez-tez uchraydigan hodisa xususida xabar paydo bo'lsa, bunday xabarning

qabul qiluvchi uchun informativligi kam bo'ladi. Xuddi shunday, yuz berish ehtimolligi nolga yaqin bo'lgan xabarning ham informativligi kam bo'ladi.

Hodisalarga qandaydir tajribaning natijasi sifatida qarash mumkinki, bunday tajribaning barcha natijalari *ansamblni*, ya'ni hodisalarning to'liq guruhini tashkil etadi. K.Shennon tajriba jarayonida paydo bo'luvchi hodisaning noaniqligi tushunchasini kiritdi va uni *entropiya* deb atadi.

Ansambl entropiyasi uning noaniqligining va demak informativligining miqdoriy o'lchovi bo'lib, tajribaning har bir mumkin bo'lgan natijalari ehtimolligi to'plamining o'rtacha funksiyasi sifatida ifodalanadi.

Faraz qilaylik, q turli xilli N tajriba natijalari mavjud bo'lsin. i -natija n_i marta qaytariladi va miqdori I_i sifatida baholanuvchi informatsiyaga ega. U vaqtda bitta tajriba natijasida hosil bo'luvchi o'rtacha informatsiya quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{o'rt} = \frac{n_1 I_1 + n_2 I_2 + \dots + n_q I_q}{N}$$

Agar har bir natijadagi informatsiya miqdorining uning ehtimolligi p_i bilan bog'liqligini hamda ikkilik birliklarda (bitlarda)

$$I_i = \log_2 \frac{1}{p_i} = -\log_2 p_i$$

kabi ifodalanishini hisobga olsak, quyidagini yozish mumkin.

$$I_{o'rt} = \frac{n_1(-\log_2 p_1) + \dots + n_i(-\log_2 p_i) + \dots + n_q(-\log_2 p_q)}{N}$$

yoki

$$I_{o'rt} = \frac{n_1}{N}(-\log_2 p_1) + \dots + \frac{n_i}{N}(-\log_2 p_i) + \dots + \frac{n_q}{N}(-\log_2 p_q)$$

$\frac{n_i}{N}$ nisbatlar – natijalarning qaytarilish chastotalari, demak, ularni

ehtimolliklari bilan almashtirish mumkin ($\frac{n_i}{N} = p_i$).

Unda bitlarda ifodalangan o'rtacha informatsiya miqdori quyidagiga teng bo'ladi:

$$I_{o'rt} = p_1(-\log_2 p_1) + \dots + p_i(-\log_2 p_i) + \dots + p_q(-\log_2 p_q)$$

yoki $I_{o'rt} = -\sum_{i=1}^q p_i (\log_2 p_i) = H$ (Shenon formulasi)

Hosil bo'lgan kattalik *entropiya* deb ataladi va H harfi bilan belgilanadi.

Entropiya quyidagi xususiyatlarga ega:

1. Entropiya haqiqiy va manfiy bo'lmagan kattalik. Chunki, har qanday $i (1 \leq i \leq N)$ uchun p_i 0 dan 1 gacha oraliqda o'zgaradi, ya'ni $\log_2 p_i$ manfiy va, demak, $-p_i \log_2 p_i$ musbat.

2. p_i lardan biri birga teng, qolganlari nolga teng bo'lganida entropiya nolga teng. Bu vaziyat manbaning holati to'la aniqlanganiga mos keladi.

3. Barcha ehtimolliklar bir-biriga teng bo'lganida entropiya eng katta qiymatga ega bo'ladi, ya'ni: $H_{max} = -\log_2 1/q = \log_2 q$

4. Bir necha statistik bog'lanmagan informatsiya manbalarining birlashma entropiyasi dastlabki manbalar entropiyalarining yig'indisiga teng.

Umumiy holda, informatsiya miqdorini tajriba natijasida entropiyaning kamayishi deb hisoblash mumkin. Agar noaniqlik butunlay bartaraf etilsa, informatsiya miqdori entropiyaga teng bo'ladi, ya'ni: $I = H$

Agar noaniqlik qisman bartaraf etilsa, informatsiya miqdori boshlang'ich va oxirgi entropiyalarning farqiga teng, ya'ni: $I = H_1 - H_2$.

Ta'kidlash lozimki, agar barcha hodisalar teng ehtimollikka ega va statistik bog'lanmagan bo'lsa, Xartli va Shennon bo'yicha informatsiya miqdori bir xil bo'ladi.

Misol:

Alfavit A, B, C, D harflardan tashkil topgan. Harflarning paydo bo'lish ehtimolliklari quyidagicha:

$$p_A = p_B = 0.25;$$

$$p_C = 0.34; p_D = 0.16$$

Ushbu alfavitdan tuzilgan xabar simvoliga to'g'ri keladigan informatsiya miqdori aniqlansin.

Yechish:

Alfavit simvollarining ehtimolliklari teng bo'lmaganligi sababli entropiya quyidagicha aniqlanadi:

$$H = -\sum_{i=1}^q p_i (\log_2 p_i) = (2 \cdot 0.25 \log_2 0.25 + 0.34 \log_2 0.34 + 0.16 \log_2 0.16) = 2 \cdot 0.5 + 0.529174 + 0.423017 = 1.952191$$

bit/simvol.

2.2.1. Shartli entropiya va birlashma entropiya

Shartli entropiya informatsiya nazariyasida kodlanuvchi alfavit simvollarini orasidagi o'zaro bog'liqlikni aniqlashda, aloqa kanallari bo'yicha informatsiya uzatishdagi yo'qotishlarni aniqlashda va birlashma entropiyani hisoblashda ishlatiladi. Entropiyalarni jamlash qoidasiga muvofiq ikkita mazmun jihatidan turli (mustaqil) kitoblardagi informatsiya miqdori – alohida kitoblardagi informatsiya miqdorlarining yig'indisiga teng. Agar bir kitob ikkinchi kitobning qismini o'z ichiga olsa, ushbu ikki kitobdagi informatsiya miqdori alohida kitoblardagi informatsiya miqdorlarining yig'indisiga teng bo'lmaydi, balki undan kam bo'ladi. Bu holda informatsiya miqdorini o'lchashda *shartli entropiya* tushunchasidan foydalaniladi.

Shartli entropiyani hisoblashda *shartli ehtimolliklar* u yoki bu ko'rinishda ishlatiladi.

Agar n ta xabar uzatilganida A simvoli m marta, B simvoli l marta, A simvoli B simvoli bilan birgalikda k marta paydo bo'lgan bo'lsa, A simvolning paydo bo'lish ehtimolligi:

$$P(A) = \frac{m}{n}$$

V simvolning paydo bo'lish ehtimolligi:

$$P(B) = \frac{l}{n}$$

A va B simvollarning birgalikda paydo bo'lish ehtimolligi:

$$P(AB) = \frac{k}{n}$$

B simvolga nisbatan A simvolning paydo bo'lishining shartli ehtimolligi:

$$P(A/B) = \frac{P(AB)}{P(B)} = \frac{k}{n} \cdot \frac{n}{l} = \frac{k}{l}$$

A simvolga nisbatan B simvolning paydo bo'lishining shartli ehtimolligi:

$$P(B/A) = \frac{P(AB)}{P(A)} = \frac{k}{n} \cdot \frac{n}{m} = \frac{k}{m}$$

Ushbu ifodalardan foydalanib A va B simvollarning birgalikda paydo bo'lish ehtimolligini aniqlash mumkin.

$$P(AB) = P(B)P(A/B) = P(A)P(B/A)$$

Ehtimolliklar shartli bo'lgani sababli, *shartli entropiya* quyidagicha yoziladi:

$$H(b_j/a_i) = - \sum_j p(b_j/a_i) \log_2 p(b_j/a_i)$$

$$H(a_i/b_j) = - \sum_i p(a_i/b_j) \log_2 p(a_i/b_j)$$

Bu yerda i indeks A xabar manbaining ixtiyoriy holatini tavsiflash uchun, j indeksi B adresatning ixtiyoriy holatini tavsiflash uchun tanlangan.

Birlashma entropiya. Birlashma entropiya statistik bog'langan xabarlarning birgalikda paydo bo'lish entropiyasini hisoblashda ishlatiladi.

Masalan, xalalli aloqa kanali bo'yicha 5 raqamini yuz marta uzatish natijasida 5 raqami 90 marta, 6 raqami 8 marta, 4 raqami 2 marta qabul qilindi. 5 raqami uzatilganida 5-4, 5-5, 5-6 kombinatsiyalarning paydo bo'lishining noaniqligini birlashma entropiya yordamida tavsiflash mumkin.

$H(A, B)$ – A simvol uzatilganida B simvol qabul qilinishining noaniqligi.

Uzatilgan A xabarlarning va qabul qilingan B xabarlarning ansambllari uchun birlashma entropiya quyidagi yig'indi ko'rinishiga ega:

$$H(A, B) = - \sum_i \sum_j p(a_i, b_j) \log_2 p(a_i, b_j) \text{ bit/ikkita simvol};$$

Birlashma entropiya va shartli entropiya o'zaro quyidagi munosabat orqali bog'langan.

$$H(A, B) = H(A) + H(B/A) = H(B) + H(A/B),$$

$$H(B/A) = H(A, B) - H(A); \quad H(A/B) = H(A, B) - H(B).$$

Misol:

Tajribadan ma'lum bo'ldiki, uzunligi 5 ta simvoldan iborat har bir 100 ta xabar uzatilganida A simvol 50 marta, B simvol 30 marta, B simvoli A simvoli bilan birgalikda 10 marta uchraydi. $H(A/B)$ va $H(B/A)$ shartli entropiyalar aniqlansin.

Yechish:

Uzatilgan simvollarning umumiy soni:

$$n = 100 \cdot 5 = 500.$$

A simvolning paydo bo'lish ehtimolligi:

$$P(A) = \frac{50}{500} = 0,1$$

B simvolning paydo bo'lish ehtimolligi:

$$P(B) = \frac{30}{500} = 0,06$$

A va B simvollarning birgalikda paydo bo'lish ehtimolligi:

$$P(AB) = \frac{10}{500} = 0,02$$

B simvolga nisbatan A simvolning paydo bo'lishining shartli ehtimolligi:

$$P(A/B) = \frac{P(AB)}{P(B)} = \frac{0,02}{0,06} = 0,33$$

A simvolga nisbatan B simvolning paydo bo'lishining shartli ehtimolligi:

$$P(B/A) = \frac{P(AB)}{P(A)} = \frac{0,02}{0,1} = 0,2$$

B simvolga nisbatan A simvolning shartli entropiyasi:

$$H(A, B) = - \sum_j p(b_j/a_j) \log_2 p(b_j/a_j) = - \{ p(A/B) \log_2 p(A/B) + [1 - p(A/B)] \log_2 [1 - p(A/B)] \} \\ = -(0,33 \log_2 0,33 + 0,67 \log_2 0,67) = \\ = 0,9149 \text{ bit/simvol};$$

A simvolga nisbatan B simvolning shartli entropiyasi:

$$H(B/A) = -(0,2 \log_2 0,2 + 0,8 \log_2 0,8) = 0,7219 \text{ bit/simvol}$$

2.2.2. Nisbiy entropiya va xabarlarining ortiqchaligi

Tatbiq nuqtai nazaridan informatsiya miqdorini baholash, asosan, tejamli kodlarni qurish, aloqa kanallari xususiyatlarini va ularning o'tkazish qobiliyatini baholash, kodlarning ortiqchaligini va ularning xalallarga bardoshligini aniqlash uchun zarur hisoblanadi.

Masalan, aloqa kanallarini tahlilashda holatlari to'plami ma'lum elementlar yordamida uzatilishi mumkin bo'lgan informatsiyaning maksimal miqdorini aniqlashni bilish zarur. Xabar elementiga to'g'ri keluvchi informatsiyaning maksimal miqdorini faqat holatlarning teng ehtimolligi va mustaqilligida olish mumkin.

Entropiyasi maksimal qiymatga ($H_{max} = \log_2 q$) teng bo'lgan xabarlar uzatiladigan informatsiyaning maksimal miqdori jihatidan optimal xabarlar hisoblanadi. Real xabarlar kamdan - kam bu shartni qanoatlantiradi. Shu sababli, real xabarlar har bir elementiga ular uzatishi mumkin bo'lganidan kam informatsiya yuklamasi to'g'ri keladi. Bunday xabarlarining entropiyasi maksimaldan kam bo'ladi. Agar xabar elementi to'la yuklanmagan bo'lsa, xabarining o'zi informatsiya ortiqchaligi xususiyatiga ega hisoblanadi.

Informatsiya nazariyasida ortiqchalik *ortiqcha* informatsiya miqdorini ko'rsatadi. Bu informatsiya miqdori elementlar holati to'plamining strukturasi orqali aniqlanadi va odatda, statistik ma'lumotlardan oldindan ma'lum bo'ladi. Xabarlar manbaining entropiyasi sifat alomatlarining berilgan soniga ega bo'lgan alfavit uchun maksimal entropiyaga teng bo'lmasligi ushbu manba xabarlarining ko'p sonli informatsiyani eltishi mumkinligini anglatadi.

Bunday manba xabarlarining simvoliga to'g'ri keluvchi absolyut yuklanmaganlik:

$$\Delta D = (H_{max} - H) \text{ bit/simvol}$$

Informatsion ortiqchalik. Alfavit strukturasi ortiqcha informatsiya miqdorini aniqlash uchun *ortiqchalik* tushunchasi kiritilgan. *Informatsion ortiqchalik* o'lchamsiz kattalik bo'lib, alfavit simvoliga to'g'ri keladigan nisbiy ortiqchalikni ifodalaydi.

$$\Delta = \frac{H_{max} - H}{H_{max}} = 1 - \frac{H}{H_{max}}$$

bu yerda $\frac{H}{H_{max}} = \mu$ - zichlash koeffitsienti (nisbiy entropiya).

Xabardagi simvollar paydo bo'lish ehtimolliklari teng bo'lmagan holda, ortiqchalik:

$$\Delta_p = 1 - \left(\frac{- \sum_i p_i \log_2 p_i}{\log_2 q} \right)$$

Xabar simvollari orasidagi statistik bog'lanish tug'diruvchi ortiqchalik:

$$\Delta_s = 1 - \left(\frac{\sum_i \sum_j p(a_i) p(b_j/a_i) \log_2 p(b_j/a_i)}{- \sum_i p_i \log_2 p_i} \right)$$

To'liq informatsion ortiqchalik:

$$\Delta = \Delta_s + \Delta_p - \Delta_s \Delta_p$$

Ortiqchalik har doim ham nomaqbul hisoblanmaydi. Kodlarning xalallarga bardoshligini oshirish uchun ortiqchalik zarur va u sun'iy ravishda qo'shimcha simvollar ko'rinishida kiritiladi.

Informatsion ortiqchalik – odatda tabiiy hodisa bo'lib, birlamchi alfavitning aslida mavjud. Tuzatuvchi ortiqchalik sun'iy hodisa bo'lib, ikkilamchi alfavitdagi kodda mavjud. Ortiqchalikni kamaytirishning eng samarali usuli samarali kodlarni qurish.

Misol:

Xabarlar a, b, c, d alfavit vositasida tuzilgan. Matnlarda alfavit harflarining paydo bo'lishi ehtimolliklari quyidagicha:

$$p_a = 0.2, p_b = 0.3, p_c = 0.4, p_d = 0.1.$$

Ushbu alfavit asosida tuzilgan xabarlar ortiqchaligi aniqlansin.

Yechish:

Ortiqchalik.

$$\Delta = 1 - \frac{H}{H_{max}}$$

To'rtta harfli alfavit uchun maksimal entropiya:

$$H_{max} = \log_2 4 = 2 \text{ bit/simvol}$$

Xabar simvoliga to'g'ri keladigan o'rtacha entropiya

$$H = -\sum_i p_i \log_2 p_i = -(0.2 \log_2 0.2 + 0.3 \log_2 0.3 + 0.4 \log_2 0.4 + 0.1 \log_2 0.1) = 0.4644 + 0.5211 + 0.5288 + 0.3322 = 1.8465 \text{ bit/simvol}$$

Ortiqchalik

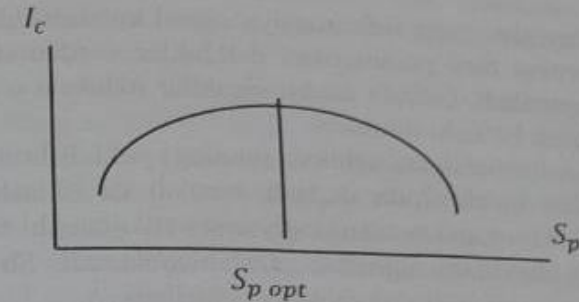
$$\Delta = 1 - \frac{1.8465 \text{ bit/simvol}}{2 \text{ bit/simvol}} = 1 - 0.9232 = 0.0768 \text{ bit/simvol}$$

2.3. Informatsiyaning semantik o'lchovi

Informatsiyaning ma'noli mazmunini, ya'ni uning semantik bosqichidagi miqdorini o'lchashda tezaurusli o'lchov keng tarqalgan. Bu o'lchov informatsiyaning semantik xususiyatlarini informatsiya olinishidagi foydalanuvchining qobiliyati bilan bog'laydi. Buning uchun *foydalanuvchining tezaurusi* tushunchasi ishlatiladi. *Tezaurus* – foydalanuvchi yoki sistema ixtiyoridagi ma'lumotlar majmui.

Foydalanuvchi qabul qiladigan va kelgusida o'zining tezaurusiga kiritadigan informatsiya miqdori I_c informatsiyaning ma'noli mazmuni S va foydalanuvchi tezaurusi S_p orasidagi o'zaro nisbatda o'zgaradi. Bu

bog'liqlik tabiatini 2.2-rasmdagi egri chiziq yordamida ko'rsatish mumkin.



2.2-rasm. Foydalanuvchi qabul qiladigan semantik informatsiya miqdori bilan uning tezaurusi orasidagi bog'liqlik $I_c = f(S_p)$

Foydalanuvchi semantik informatsiyaning maksimal miqdoriga informatsiyaning ma'noli mazmunini o'zining tezaurusi bilan muvofiqlashtirgan xolda ($S_p = S_{p \text{ opt}}$) ega bo'ladi. Unda qabul qilingan informatsiya foydalanuvchiga tushunarli bo'ladi va unda oldin noma'lum bo'lgan (uning tezaurusida bo'lmagan) ma'lumotlarni beradi.

Shunday qilib, foydalanuvchi qabul qiladigan ma'lumotlardagi semantik informatsiyaning miqdori, yangi bilimlar miqdori nisbiy kattalikdir. Bir xil ma'lumotlar bilimdon foydalanuvchi uchun ma'noli mazmunga ega bo'lsa, xabarsiz foydalanuvchi uchun ma'noga ega bo'lmaydi (semantik shovqin).

Semantik informatsiya miqdorining nisbiy o'lchovi sifatida semantik informatsiya miqdorining uning hajmiga nisbati orqali aniqlanuvchi mazmunli koeffitsienti C xizmat qilishi mumkin:

$$C = I_c / V_m$$

Ta'kidlash lozimki, informatsiyani semantik o'lchash muammolari uzatiluvchi informatsiya mazmunini formallashtirish bilan bog'liq. Ushbu muammolar juda murakkab, chunki informatsiyaning mazmuni qabul qiluvchiga, xabar semantikasiga nisbatan, ko'proq bog'liq.

2.4. Informatсион o'zgartirish

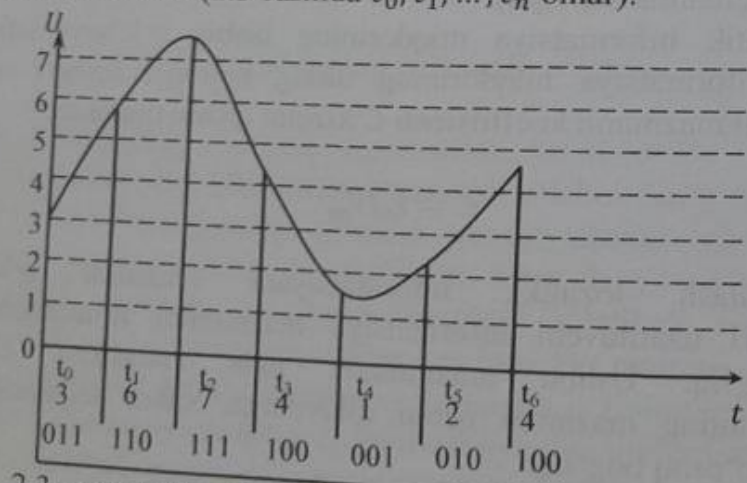
Har qanday sistemaga informatsiya signal ko'rinishida beriladi. Fizik jarayonlarning turli parametrlari datchiklar yordamida elektrik signallarga aylantiriladi. Odatda ushbu signallar uzluksiz o'zgaruvchi tok yoki kuchlanish bo'lishi mumkin.

Beriluvchi informatсионni uzluksiz (analog) yoki diskret (raqamli) shakldagi signallar ko'rinishida saqlash, uzatish va ishlash mumkin bo'lsada, hozirgi informatсион texnologiyaning rivojlanishi bosqichida diskret (raqamli) shakldagi signallar afzal hisoblanadi. Shu sababli, analog signallar raqamli (diskret) shaklga keltiriladi.

Raqamli shakldagi signallarni analog shaklga o'zgartirish-kompyuterda hisoblash natijalarini boshqaruvchi ob'jekt signali sifatida ishlatish uchun, qulay ko'rinishga keltirish. Boshqacha aytganda, bu masala kompyuter chiqish yo'lidagi raqamli ketma-ketlik bo'yicha aproksimatsiyalovchi signalni shakllantirish.

Analog shakldagi signallarni raqamli shaklga keltirishda quyidagi uchta jarayonni ko'rsatish mumkin: diskretlash, kvantlash, kodlash. Ushbu jarayonlar mohiyatini ko'rib chiqamiz. Keyingi bayonlarda aniqlikni ta'minlash maqsadida o'zgartirish qiymati bo'yicha uzluksiz o'zgaruvchi kuchlanish shaklida ifodalangan signallar ustida amalga oshiriladi deb hisoblaymiz.

Diskretlash. Diskretlash jarayoniga muvofiq vaqt bo'yicha uzluksiz signaldan uning alohida qiymatlari ma'lum vaqt intervali t oralab tanlab olinadi. (2.3-rasmda t_0, t_1, \dots, t_n onlar).



2.3-rasm. Diskretlash, kvantlash va kodlash jarayoni

Interval t vaqt intervali, sanaladigan, onlar vaqtning takt onlari deb yuritiladi. Ravshanki, sanaladigan onlar qanchalik ko'p bo'lsa (diskretlash chastotasi yuqori bo'lsa) signal raqam ko'rinishida shunchalik aniq ifodalanadi.

Sanaladigan onlar kam bo'lsa (diskretlash chastotasi past bo'lsa) signal hususidagi axborot yo'qolishi mumkin.

Bu holat mashhur Naykvist – Kotelnikov mezonidan bevosita kelib chiqadi. Ushbu mezonga muvofiq diskretlash chastotasi bo'lmaganda signal chastotasidan ikki marta katta bo'lishi lozim. Aks xolda signal xususidagi axborot yo'qoladi va signalni berilgan aniqlikda analog shakliga tiklab bo'lmaydi.

Kvantlash. Kvantlashning mohiyati quyidagicha. Bir – biridan kvantlash qadami deb ataluvchi Δ kattalikka siljigan kvantlar to'ri hosil qilinadi (2.3-rasm). Kvantlashning har bir sathiga tartib raqami (0, 1, 2, 3, 4 va h) berilishi mumkin. So'ngra diskretlash natijasida olingan dastlabki analog kuchlanish qiymatlari ularga yaqin kvantlash sathi bilan almashtiriladi.

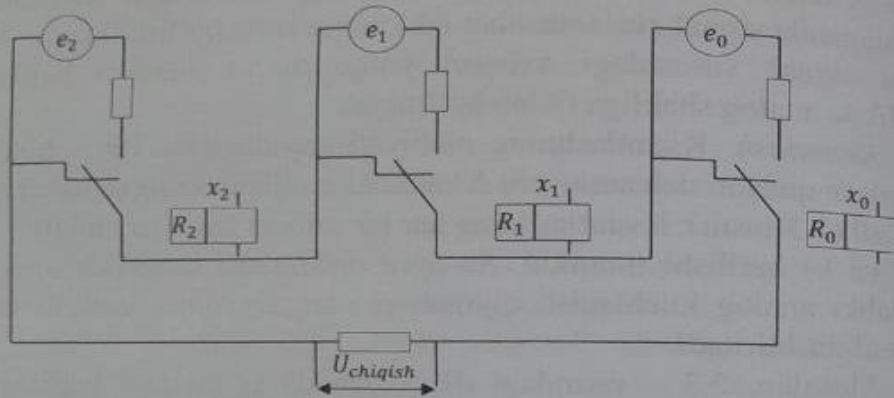
Masalan, 2.3 – rasmdagi diagrammada t_0 onidagi kuchlanish qiymati unga yaqin 3 nomerli kvantlash sathi bilan almashtiriladi, t_1 onidagi kuchlanish qiymati 6-chi sathga yaqin va ushbu sath bilan almashtiriladi va h. Har qanday yaxlitlash kabi kvantlash jarayoni kuchlanishning diskret qiymatlarini ifodalashda xatolikka olib keladi, ya'ni kvantlash shovquni hosil bo'ladi. Analog-raqam o'zgartgichlarini loyihalashda kvantlash shovqinini pasaytirishga harakat qilinadi.

Kodlash. Kodlashning mohiyati quyidagicha: Kvantlash amali kuchlanish qiymatlarini sonlar – mos kvantlash sathlari nomerlari orqali ifodalashga imkon beradi. 2.3- rasmdagi diagramma uchun 3, 6, 7, 4, 1, 2, 4 va h. sonlarning ketma-ketligi ikkilik kod orqali ifodalanadi.

Raqamli shakldagi signallarni analog shaklga o'zgartirish – analog shakldagi signallarni raqamli shaklga o'zgartirishga teskari jarayon. Quyida kuchlanishning salmoqli manbalari asosida qurilgan raqam-analog o'zgartgichi misolida ushbu jarayon tavsifi keltirilgan. Bunday o'zgartgichlar har qanday ikkilik son ikkining darajali yig'indisi ko'rinishida ifodalanishi mumkinligiga asoslangan, ya'ni

$$X = x_n x_{n-1} \dots x_0 = \sum_{i=0}^n x_i 2^i = 2^n x_n + 2^{n-1} x_{n-1} + \dots + 2^0 x_0,$$

bu yerda, 2^i -sondagi raqam salmog'ini belgilovchi koeffitsiyent. Sonning ikkilik kodini analog kattalikka (masalan, uzluksiz o'zgaruvchi elektr kuchlanishiga) o'zgartirish uchun, sonning har bir "1" raqamiga kuchlanishni, o'zining salmog'i bilan, moslashtirish va so'ngra ularni jamlash lozim. 2.4-rasmda ushbu usulni amalga oshiruvchi uch xonali raqam-analog o'zgartgichning soddalashtirilgan sxemasi keltirilgan.



2.4-rasm. Uch xonali raqam-analog o'zgartgichining soddalashtirilgan sxemasi

Sxema ikkining darajasiga mutanosib $e_0 = 2^0 e$, $e_1 = 2^1 e$, $e_2 = 2^2 e$, kuchlanishning uchta manбайдan hamda qutblangan R_0, R_1, R_2 , relarlardan iborat. Rele "1" kodiga mos signallar orqali boshqariladi. Agar relening boshqaruvchi chulg'amida "1" kodining signali paydo bo'lsa, u o'ng holatga o'tadi va salmoq kuchlanishini chiqish yo'liga ulyadi. Natijada chiqish yo'lida o'zgartiriluvchi ikkilik songa mutanosib salmoqli kuchlanishlar yig'indisi $x_0 x_1 x_2 \rightarrow \sum_{i=0}^2 x_i e_i$ paydo bo'ladi. Demak, chiqish yo'lidagi kuchlanish o'zgartiriluvchi ikkilik songa mutanosib

$$\sum_{i=0}^2 x_i e_i = X.$$

Ko'rilayotgan sxemada uzib-ulagichlar sifatida elektron relelar, jumladan, trigger ishlatilishi mumkin.

Nazorat savollari

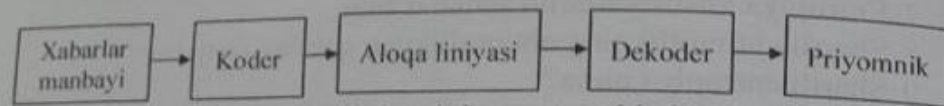
1. Strukturaviy yondashishda informatsiyaning qanday o'lchovlari farqlanadi?
2. Xartli o'lchovi nima?
3. Son teranligi nima?
4. Son uzunligi nima?
5. Ansambl nima?
6. Shannon formulasi bilan Xartli formulasi farqi nimada?
7. Entropiya xususiyatlarini sanab o'ting.
8. Shartli ehtimollikning ehtimollikdan qanday farqi bor?
9. Shartli entropiya nima?
10. Birlashma entropiya qachon ishlatiladi?
11. Informatsiyaning maksimal miqdorini qachon olish mumkin?
12. Ortiqchalik iborasini tushuntiring.
13. Informatsion ortiqchalik nima?
14. Ortiqchalik doimo nomaqbulmi?
15. Foydalanuvchining tezaurusi nima?
16. Semantik informatsiya miqdori.
17. Analog shakldagi signallarni raqamli shaklga keltirish qanday mezonga asoslanadi?
18. Diskretlash, kvantlash, kodlash iboralarining mohiyatini tushuntiring.
19. Raqamli shakldagi signallarni analog shaklga keltirish jarayonini tushuntiring.

3-BOB. INFORMATSIYANI UZATISH VA ZICHLASH

3.1. Xalallar yo'qligida xabarlarni uzatuvchi informatsion sistema modeli

Xabarlarni makonning bir nuqtasidan ikkinchisiga uzatishga mo'ljallangan texnik vositalar majmui aloqaning bir kanalli informatsion sistemasi yoki, oddiygina, aloqa kanali deb yuritiladi.

Xalalsiz aloqa kanalining eng sodda blok-sxemasi 3.1-rasmda keltirilgan.



3.1-rasm. Aloqa liniyasining eng sodda blok-sxemasi

Bosma matn, grafik tasvir, tovush to'liqini, o'lchov asbobining ko'rsatishi va h. manba chiqish yo'lining xabari bo'lishi mumkin. Kodlash qurilmasining vazifasi – manba chiqish yo'li xabarini qandaydir standart shaklda masalan, ikkilik ketma-ketligi ko'rinishida ifodalash. Ammo kodlashning asosiy vazifasi – standart ifoda eng tejamli bo'lishligini hamda olingan kodlangan signal bo'yicha uzatilgan xabarlarni bir ma'noda tiklash mumkinligini ta'minlash.

Kodlangan signallar aloqa liniyasidan o'tib, dekodlash qurilmasining kirish yo'liga beriladi. Dekodlash qurilmasi ushbu signallarni priyomnik uchun qulay shaklga o'zgartiradi.

Aloqa sistemasida kechuvchi jarayonlarni mushohada qilishda xabarlar manbai unumdorligi, signalni uzatish tezligi va aloqa kanalining o'tkazish qobiliyati kabi muhim tushunchalar paydo bo'ladi.

Manba unumdorligi deganda informatsiyani yaratish tezligi, ya'ni vaqt birligida (odatda sekunda) manba tomonidan yaratilgan informatsiya miqdori tushuniladi. Xabarlarning diskret manbai uchun entropiya (H) xabarning bitta elementiga to'g'ri keluvchi informatsiyaning o'rtacha miqdorini belgilaydi.

Manbaning chiqish yo'lida xabarning alohida elementlari vaqtning qandaydir intervallaridan keyin paydo bo'ladi. Agar barcha elementlar bir xil davomlilik τ ga ega bo'lsa, xabarlarni manba tomonidan yaratish tezligi quyidagicha ifodalanadi.

$$C = \frac{H}{\tau} \text{ bit/sek}$$

Ehtimolliklari teng bo'lmagan va davomlilik teng simvollar uchun

$$C = \frac{1}{\tau} \left(- \sum_{i=1}^q p_i \log p_i \right) \text{ bit/sek}$$

bu yerda

p_i – i simvolning paydo bo'lish ehtimolligi.

Ehtimolliklari teng bo'lmagan va davomiyliigi turli simvollar

uchun

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^q \tau_i P_i} * \left(- \sum_{i=1}^q p_i \log p_i \right) \text{ bit/sek}$$

Umumiy holda

$$C = \frac{I}{T} \text{ bit/sek}$$

bu yerda

I – xabar tarkibidagi informatsiya miqdori;

T – xabarni uzatish tezligi.

Aloqa liniyasi bo'yicha uzatish uchun xabar kodlanadi va elektr signaliga o'zgartiriladi. Agar liniyada xalallar bo'lmasa uzatiluvchi signallarning barcha elementlari chiqish yo'lida buzilmasdan qayta tiklanadi. Kirish va chiqish yo'llaridagi signal elementlari orasida bir ma'noli moslik mavjud bo'ladi. Bu holda *informatsiyani uzatish tezligi* (C_1) manba tomonidan informatsiyani yaratish tezligiga (C) teng bo'ladi. Ravshanki, informatsiyani uzatish tezligi xabarlar manbai xususiyatlariga, kodlash usuliga va aloqa liniyasi xususiyatlariga bog'liq.

Informatsiyani uzatish tezligidan tashqari *signalni uzatish tezligi* tushunchasi mavjud. Informatsiyani masofaga uzatishga bevosita mo'ljallangan xabar signal deb ataladi. Signallar alohida impulslar yoki impulslar nabori ko'rinishida uzatiladi. Esda tutmoq lozimki, agar informatsiyani uzatish tezligi informatsiyani eltuvchi elementlar soni orqali aniqlansa, signallarni uzatish tezligi esa signal elementlarining umumiy soni (impulslar soni) orqali aniqlanadi.

Signalni uzatish tezligi

$$V = \frac{N}{T_C}$$

bu yerda T_C – signalni uzatish vaqti,
 $N - T_C$ vaqtda uzatilgan signallar (impulslar) soni.

$$t_n = \frac{T_C}{N}$$

Signalni uzatish tezligining o'lchov birligi sifatida 1 bod qabul qilingan. Ibod miqdoran 1sekundda uzatilgan bitta elementar jo'natmaga mos keladi. Ta'kidlash lozimki, informatsiyani uzatish tezligi xabarlar manbaining informatsion xarakteristikalariga bog'liq, signallarni uzatish tezligi esa apparaturaning tezkorligiga bog'liq.

Informatsiyani uzatish sistemasining yuqorida ko'rilgan xarakteristikalaridan tashqari, muayyan aloqa kanali bo'yicha berilgan vaqt oralig'ida informatsiyaning qanday maksimal miqdori uzatilishi mumkinligi xususida, ya'ni kanalning o'tkazish qobiliyati (C^*) xususida tasavvurga ega bo'lish lozim.

Aloqa sistemasida kanalning o'tkazish qobiliyati aloqa kanalining potensial imkoniyatini xarakterlaydi va informatsiyani uzatishning maksimal tezligi orqali aniqlanadi.

$$C^* = C_{1max} = \frac{I_{max}}{T} \text{ bit/sek}$$

Xabar elementlarining ehtimolliklari teng holida o'tkazish qobiliyati

$$C^* = C_{1max} = \frac{\log_2 q^n}{n\tau} = \frac{\log_2 q}{\tau} \text{ bit/sek}$$

Ikkilik kod uchun ($q=2$) ikkilik kanalning o'tkazish qobiliyati

$$C^* = \frac{1}{\tau} \text{ bit/sek.}$$

Misollar:

1). Xabar 5ta sifat alomatlaridan ($q = 5$) tuzilgan. Simvol davomliligi $\tau = 20$ msek. Signallarni uzatish tezligi hamda informatsiyani uzatish tezligi aniqlansin.

Yechish:

Signallarni uzatish tezligi:

$$V = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{0.02} = 50 \text{ simvol/sek}$$

Informatsiyani uzatish tezligi:

$$C = \frac{H}{\tau} = \frac{\log_2 q}{\tau} = \frac{\log_2 5}{0.02} = \frac{2.32}{0.02} = 116 \text{ simvol/sek}$$

2). Aloqa kanallari bo'yicha xabarlarni uzatishda to'rtta turli simvolli alfavitdan foydalanilgan. Barcha simvollarning davomliligi $\tau = 1$ sek. Aloqa kanalining o'tkazish qobiliyati aniqlansin.

Yechish:

Aloqa kanalining o'tkazish qobiliyatini aniqlash uchun quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$C = \frac{H_{max}}{\tau} \text{ bit/sek}$$

yoki,

$$C^* = \frac{\log_2 q}{\tau} \text{ bit/sek}$$

bu erda q – xabarlarning umumiy soni; τ – signalning o'rtacha davomliligi.

Xabarlarni uzatish uchun to'rtta simvolli alfavit ishlatilganligi sababli, $q = 4^4$

Barcha signallarning davomliligi:

$$4\tau = 4 \text{ mc}$$

$$\text{Demak, } C^* = 250 \log_2 4^4 = 250 \log_2 2^8 = 2 \cdot 10^3 \text{ bit/sek}$$

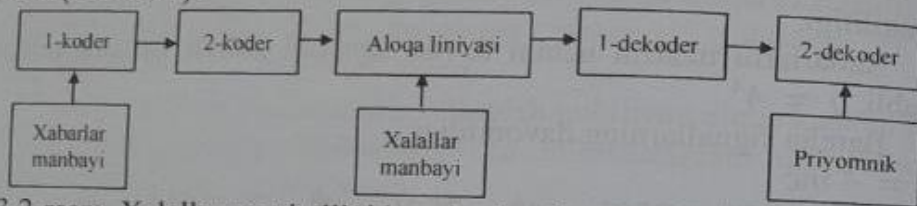
3.2. Xalallar mavjudligida xabarlarni uzatuvchi informatsion sistema modeli

Faraz qilaylik, aloqa kanali mavjud va u orqali X holatli va $H(X)$ entropiyali xabarlar uzatiladi. Xabarlar aloqa liniyasida xalallar ta'sirida bo'ladi. Natijada, olingan xabarlar $H(Y)$ entropiyali Y holatga ega bo'ladi. Shu tariqa, informatsiya uzatiluvchi kanalda, xalallar mavjudligi sababli, uzatilgan va qabul qilingan xabarlar orasida moslik buziladi. Xalallar dastlabki xabarlardagi informatsiyani buzadi va xalallar darajasi kattaligida informatsiya aytarlicha kamayishi mumkin. Aytaylik, ikkilik x_1 va x_2 holatga, $p(x_1)$ va $p(x_2)$ ehtimolliklarga ega ikkilik (binar) xabar uzatilishi lozim bo'lsin. Agar ehtimolliklar bir xil, ya'ni,

$p(x_1) = p(x_2) = \frac{1}{2}$ bo'lsa uzatiluvchi informatsiya maksimal bo'ladi. Aloqa liniyasida xalallar shunday xarakterga ega bo'lishi mumkinki, qabul qiluvchi tomonda y_1 va y_2 holatlar ehtimolliklari bir-biridan

anchagina farqlanishi mumkin masalan, $p(y_1) \gg p(y)$. Bu $H(Y)$ entropiyaning buzilishidan va kamayishidan darak beradi. Xalallar ta'sirida uzatiluvchi informatsiya ham buzilishi mumkin. Bu holda holatlarni qabul qilish ehtimolliklarining bir xilligi saqlanadi: $p(y_1) = p(y_2)$, ammo uzatiluvchi holat x_1 va qabul qilinuvchi holat y_1 orasida va demak x_2 va y_2 orasida bir ma'noli moslik bo'lmaganligi tufayli dastlabki informatsiya buziladi. Ushbu holatlar orasida, $p(y_1/x_1)$ va $p(y_2/x_2)$ shartli ehtimolliklar orqali xarakterlanuvchi, statistik bog'liqlik kamayadi va uzatiluvchi xabarlar holatini noto'g'ri qabul qilish ehtimolliklarini belgilovchi yolg'on o'tishlar ehtimolliklar $p(y_2/x_1)$ va $p(y_1/x_2)$ ortadi.

Xalallar ta'sirini susaytirish maqsadida informatsion tizimga qo'shimcha ikkita qurilma 2-koder va 2-dekoder kiritishga to'g'ri keladi (3.2-rasm).



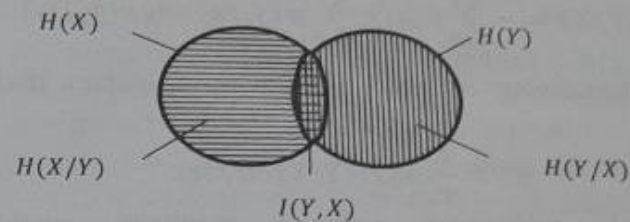
3.2-rasm. Xalallar mavjudligida xabarlarni uzatuvchi informatsion sistema modeli

2-koder signallarni xalallarga bardosh kodlashni amalga oshirishga mo'ljallangan. Oddiy holda, 2-kodlash qurilmasi 1-koderning, aloqa liniyasida xalallarning eng kuchli ta'sirida bo'lgan, signallarini qayta-qayta takrorlaydi. Qayta-qayta uzatilgan signallarni solishtirish ularni noto'g'ri qabul qilish ehtimolliklarini kamaytiradi. Ammo, xalallarga bardosh kodlashning bunday usuli uzatishning kerakli vaqtini keskin oshiradi. Ta'kidlash lozimki, har qanday holatda 2-koderning 1-koder signaliga u yoki bu ortiqchalikni kiritishi sistemaning xalallarga bardoshligini oshiradi.

1-dekoderning vazifasi - 1-koderning chiqish yo'lida olingan signalga mos signalni tiklash. 1-koder va 2-dekoder vazifalari 3.1-rasmdagidek.

Xalallar yuqligida uzatiluvchi X va qabul qilinuvchi Y xabarlar orasida qat'iy moslik mavjud, ya'ni $H(X) = H(Y)$. Xalallar ta'sirida uzatiluvchi informatsiya buziladi va $H(Y)$ ma'lumligida X ni to'liq

bilish uchun $H(X/Y)$ yetishmaydi. Xalallar ta'sirida uzatiluvchi va qabul qilinuvchi xabarlar orasidagi bog'liqlikning geometrik talqini 3.3-rasmda keltirilgan.



3.3-rasm. Xalallar ta'sirida uzatiluvchi va qabul qilinuvchi xabarlar orasidagi bog'liqlik

bu yerda $H(X/Y)$ entropiyaning, aloqa kanali bo'yicha uzatiluvchi xabarga xalallar ta'siri natijasidagi, informatsiyaning yo'qolishi deb atash mumkin.

Agar uzatiluvchi informatsiyaning umumiy miqdori $H(X)$ dan informatsiya yo'qolishi ayirilsa, uzatiluvchi xabarlar majmui $X - I(Y, X)$ ga nisbatan, qabul qilingan xabarlar majmui tarkibidagi Y informatsiya miqdori olinadi.

$$I = (Y, X) = H(X) - H(X/Y),$$

yoki, 3.3-rasmdan ko'rinadiki

$$I = (Y, X) = H(Y) - H(Y/X).$$

Aloqa liniyasida xalallarning ta'siri kuchli bo'lganida X va Y xabarlar o'zaro statistik bog'lanmagan holatga keladi. Bu holda $H(X/Y) = H(X)$ va $H(Y/X) = H(Y)$, ya'ni X ga nisbatan Y tarkibidagi informatsiya miqdori "0" ga teng. Boshqacha aytganda, Y holatlari orqali xarakterlanuvchi xabarlar tarkibida X holatlari orqali xarakterlanuvchi xabarlar xususidagi hech qanday informatsiya bo'lmaydi.

Xabar elementlarining alohida holatlarining o'zaro bog'liq bo'lmaganligi holida aloqa liniyasi chiqish yo'lidagi entropiya quyidagicha hisoblanadi.

$$H(Y) = - \sum_{j=1}^q p(y_j) \log p(y_j),$$

bu yerda Y alfavit simvollarining soni X alfavit simvollarining

soniga teng deb faraz qilinadi.

Shartli entropiya quyidagicha hisoblanadi.

$$H(Y/X) = - \sum_{i=1}^q p(x_i) \cdot \sum_{j=1}^q p(y_j/x_i) \log p(y_j/x_i).$$

Aloqa kanalining o'tkazish qobiliyati quyidagi ifoda orqali aniqlanadi.

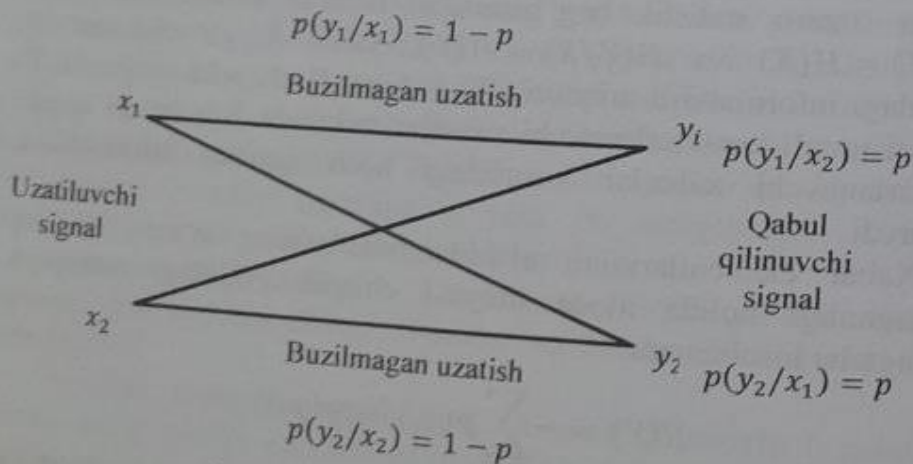
$$C^* = \frac{1}{\tau} \max I(Y, X) \text{ bit/sec}$$

bu yerda maksimum xabarlar manbaini xarakterlovchi ehtimolliklarning bo'lishi mumkin bo'lgan barcha taqsimotlari bo'yicha qidiriladi.

Aloqa kanalining o'tkazish qobiliyatini hisoblash misolini ko'raylik.

Aytaylik, ikkilik signallarni V tezlikda uzatuvchi aloqa kanalining o'tkazish qobiliyatini aniqlash talab etilsin. Xalallar ta'sirida ushbu signallarning teskarisiga o'zgarishi ehtimolligi " p " ga teng (demak, to'g'ri qabul qilinishi ehtimolligi $1-p$). Uzatiluvchi signallar o'zaro bog'lanmagan deb faraz qilinadi.

Bu holda X alfavit va Y alfavit ikkita simvoldan iborat bo'ladi: $X\{x_1, x_2\}, Y\{y_1, y_2\}$. 3.4-rasmda keltirilgan diagrammada ikkilik signallarni uzatishning mumkin bo'lgan variantlari va ularga mos ehtimolliklar ko'rsatilgan. Bu xildagi kanal ikkilik simmetirik kanal nomini olgan.



3.4-rasm. Ikkilik simmetirik kanal

Shartli entropiya hisoblanadi:

$$H\left(\frac{Y}{X}\right) = - \sum_{i=1}^2 p(x_i) \cdot \sum_{j=1}^2 p\left(\frac{y_j}{x_i}\right) \log p\left(\frac{y_j}{x_i}\right)$$

$$= -p(x_1)[(1-p)\log(1-p) + p\log p] - p(x_2)[p\log p + (1-p)\log(1-p)] =$$

$$= -[p(x_1) + p(x_2)][p\log p + (1-p)\log(1-p)].$$

$p(x_1) + p(x_2) = 1$ ekanligini inobatga olsak, quyidagini yozish mumkin $H(Y/X) = -p\log p - (1-p)\log(1-p)$. Demak, $H(Y/X)$ xabarlar manbai xarakteristikalariga, ya'ni $p(x_1)$ va $p(x_2)$ ga bog'liq emas. $H(Y)$ qiymati $\log_2 q = \log_2 2 = 1$ dan katta bo'la olmasligini hisobga olgan holda, quyidagini yozish mumkin:

$$\max I(Y, X) = 1 + p\log p + (1-p)\log(1-p),$$

bu yerda p - xalallar ta'siri yuzaga keltiruvchi xatolik ehtimolligi. Demak, o'tkazish qobiliyati

$$C^* = 1/\tau \max Y(Y, X) = 1/\tau [1 + p\log p + (1-p)\log(1-p)].$$

Jumladan, $p = 0$ bo'lganida, ya'ni kanalda shovqun bo'lmaganida aloqa liniyasining o'tkazish qobiliyati signalni uzatish tezligiga teng bo'ladi ($C^* = V$).

Misol. Ikkilik simmetrik kanal orqali xabarlar uzatilganida, xalallar ta'sirida 3% xabarlar uzatilganida mos kelmaydi, ya'ni har bir 100 ta xabarning uchtasida nulning o'rniga bir yoki biring o'rniga nul qabul qilingan. Kanalning o'tkazish qobiliyati aniqlansin.

Yechish. Ehtimolliklar aniqlanadi:

$$p(x_1) = 0.5; p(x_2) = 0.5; p(y_1) = 0.5; p(y_2) = 0.5;$$

$$p(y_1/x_1) = 0.97; p(y_2/x_1) = 0.03; p(y_1/x_2) = 0.03; p(y_2/x_2) = 0.97;$$

Entropiya qiymatlari aniqlanadi.

$$H(X) = H(Y) = -(0.5\log_2 0.5 + 0.5\log_2 0.5) = 1$$

$$H(A/B) = H(B/A) = -(0.97\log_2 0.97 + 0.03\log_2 0.03)$$

$$= -0.1944 \text{ bit/ikkita simvol}$$

$$H(X, Y) = H(Y, X) = H(X) + H(Y/X) = 1 + 0.1944$$

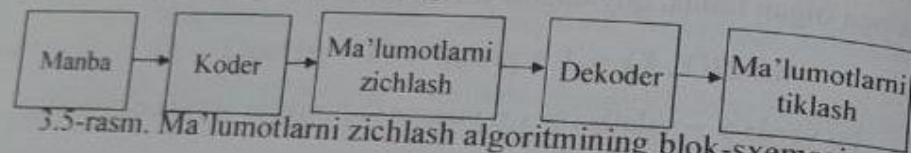
$$= 1.944 \text{ bit/ikkita simvol}$$

O'tkazish qobiliyati:

$$C^* = n[H(X) - H(X/Y)] = n[H(X) + H(Y) - H(Y, X)] = n(1 - 0.1944) = n * 0.8056 \text{ bit/sek.}$$

3.3. Ma'lumotlarni zichlash

Ma'lumotlarni zichlash-berilgan kodga yoki xabarga mos qisqaroq kod yoki xabarni olish amali. Kodlashning zichlashdan farqi shundaki, kodlar kodlanuvchi xabarlardan deyarli doimo uzun, chunki kodning sifat alomatlari soni odatda kodlanuvchi xabarning sifat alomatlari sonidan katta bo'lmaydi. 3.5-rasmda ma'lumotlarni zichlash algoritmining blok-sxemasi keltirilgan.



3.5-rasm. Ma'lumotlarni zichlash algoritmining blok-sxemasi

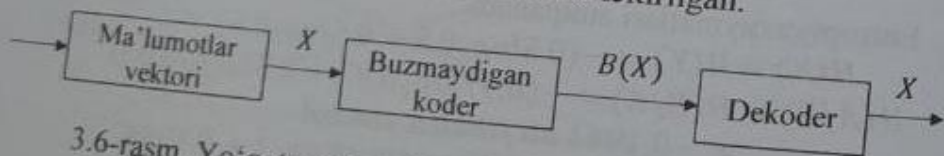
Ushbu sxemada ma'lumotlar manba tomonidan shakllantiriladi, ularning ixcham ifodalanishi esa zichlangan ma'lumotlar sifatida belgilanadi. Ma'lumotlarni zichlash sistemasi manba koderi va dekoderidan iborat. Koder manba ma'lumotlarini zichlangan ma'lumotlarga aylantiradi, dekoder esa manba ma'lumotlarini zichlangan ma'lumotlar asosida tiklashga mo'ljallangan.

Ma'lumotlarni zichlashning ikki xil sistemasi mavjud:

- informatsiyani yo'qotmasdan zichlash sistemasi (buzmaydigan zichlash);

- informatsiyani yo'qotib zichlash sistemasi (buzuvchi zichlash);

Informatsiyani yo'qotmasdan zichlash sistemasi. Zichlash sistemasining struktura sxemasi 3.6-rasmda keltirilgan.



3.6-rasm. Yo'qotmasdan zichlash sistemasining strukturasini ko'rsatuvchi diagram

Zichlanishi lozim bo'lgan manba ma'lumotlari vektori $X (X = (x_1, x_2, \dots, x_n))$ uzunligi chekli ketma-ketligi) - analog

informatsion signalning formatlangan natijasi. X vektorining komponentlari x_i ma'lumotlarning chekli alfaviti A dan tanlangan.

Bunda ma'lumotlar vektorining o'lchami " n " cheklangan, ammo yetarli darajada katta bo'lishi mumkin. Koderning chiqish yo'lida kirish yo'li vektori X ga javob tariqasida " k " o'lchamli ikkilik ketma-ketlik $B (X = (b_1, b_2, \dots, b_k))$ shakllanadi. $B(X)$ -vektor X ga koder tomonidan shallantirilgan kod so'zi. Zichlash sistemasi buzmaydigan bo'lganligi sababli $X_i = X_m$ kabi bir xil vektorlarga bir xil $B(X_i) = B(X_m)$ kod so'zlari mos keladi.

Zichlash masalalarini yechishda u yoki bu sistemaning naqadar samarador ekanligiga e'tibor berish muhim hisoblanadi. Asosan ikkilik kodlash ishlatilganligi sababli, manba ma'lumotlarining bitlardagi o'lchamiga nisbati sifatida aniqlanuvchi *zichlash koeffitsiyenti* " r " sistema samaradorligining o'lchovi bo'lishi mumkin, ya'ni

$$r = \frac{n \log (\dim A)}{K},$$

bu yerda, $\dim A$ - ma'lumotlar alfaviti A ning o'lchami.

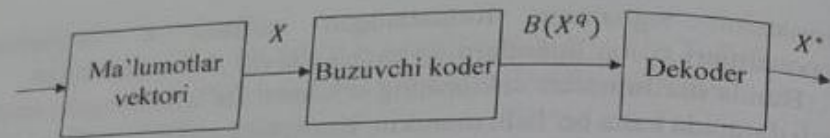
Shunday qilib, zichlash koeffitsiyenti $r = 2$ bo'lsa, zichlangan ma'lumotlar hajmi manba ma'lumotlari hajmining yarmini tashkil etadi. Zichlash koeffitsiyenti qanchalik katta bo'lsa, ma'lumotlarni zichlash sistemasi shunchalik yaxshi ishlaydi. Ma'lumotlarni zichlash sistemasining samaradorligini zichlash tezligi R orqali ham xarakterlash mumkin. Zichlash tezligi quyidagi nisbat orqali aniqlanadi:

$$R = \frac{k}{n}$$

Zichlash koeffitsiyenti katta sistemada zichlash tezligi past bo'ladi.

Informatsiyani yo'qotib zichlash sistemasi

Informatsiyani yo'qotib zichlash sistemasida manba xabarlarini zichlash jarayoni shunday amalga oshiriladiki, tiklash muolajasi zichlanishi lozim bo'lgan kirish yo'li ma'lumotlari vektori $X (X = (x_1, x_2, \dots, x_n))$ strukturasini va qiymatlariga nisbatan buzuvchi hisoblanadi. Zichlash sistemasining strukturasini 3.7-rasmda keltirilgan.



3.7-rasm. Yo'qotib zichlash sistemasining strukturasi

Oldingi sxemadagidek, $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ - zichlanishi lozim bo'lgan kirish yo'li ma'lumotlari vektori. Tiklangan vektor $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ kabi belgilanadi. Koder ma'lumotlar vektori $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ni buziladigan zichlanishga duchor qiladi va shu tariqa X bilan $B(X^q)$ orasida moslik ta'minlanadi. ($X = X^q$ sharti bajarilmasligi mumkin). Sistema buzuvchi bo'lib qoladi, chunki ikkita turli vektor X^* ga xuddi o'sha X ning o'zi javob beradi. Buzuvchi koder kirish yo'li ma'lumotlari vektoriga nisbatan, o'rtacha kvadratik masofa ma'nosida, X ga yetarlicha yaqin X^q vektorni shakllantiradi. Buzuvchi koder ikkita parametr - zichlash tezligi " R " va bo'zilishlar qiymati " D " orqali xarakterlanadi:

$$R = \frac{k}{n}; \quad D = \left(\frac{1}{n} \sum x_i - x_i^* \right)^2.$$

R parametr zichlash tezligini bitlarda xarakterlasa, D kattalik qiymati X^* va X orasida o'rtacha kvadratik farqning o'lchami hisoblanadi.

Afsuski, bir vaqtning o'zida zichlash tezligi R ni pasaytirish va buzilishlar qiymati D ni kamaytirish mumkin emas, chunki bu ikkala parametr teskari bog'lanishga ega. Shu sababli, yo'qotib zichlash sistemasini optimizatsiyalash maqsadi berilgan buzilishlar qiymatida tezlikni minimallashtirish yoki berilgan zichlash tezligida buzilishlar qiymatini minimallashtirish bo'lishi mumkin.

Buzmaydigan zichlash sistemasini yoki buzuvchi zichlash sistemasini tanlash zichlanishi lozim bo'lgan ma'lumotlar xiliga bog'liq.

Matnli ma'lumotlarni, kompyuter dasturlarini, hujjatlarni va h. zichlashda buzmaydigan usullarni tanlash lozim, chunki dastlabki ma'lumot zichlanganidan so'ng uni mutlaq aniq tiklash zarur. Tilni, musiqa ma'lumotlarini va tasvirlarni zichlashda ko'pincha buzuvchi

zichlashdan foydalaniladi, chunki u bilinmaydigan buzilishlarda tezlikni bir tartibga kamaytirishni ta'minlaydi. Umumiy holda buzuvchi zichlash, odatda, buzmaydigan zichlashga qaraganda zichlashning yuqori koeffitsiyentini ta'minlaydi.

Nazorat savollari

1. Informatsiyani uzatish tezligi nimaga bog'liq?
2. Signalni uzatish tezligi nimaga bog'liq?
3. Xalallar yo'qligida aloqa kanalining o'tkazish qobiliyati qanday aniqlanadi?
4. Xalallar mavjudligida aloqa kanalining o'tkazish qobiliyati qanday aniqlanadi?
5. Ikkilik simmetrik kanal nima?
6. Informatsiyani buzmasdan va buzib zichlash mohiyatini tushuntiring.
7. Informatsiyani buzmasdan zichlash sistemasining yoki informatsiyani buzib zichlash sistemasini tanlash nimaga bog'liq?

4-BOB. KODLASH VA DEKODLASH

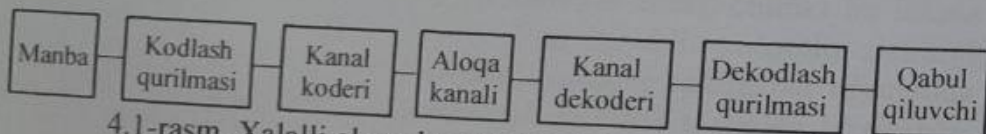
4.1. Kodlar, kodlash va dekodlash

Informatsiyani kodlash zaruriyati kompyuterlar paydo bo'lmagan anchagina oldin vujudga kelgan. Texnikada kodlashga ehtiyoj telegraf paydo bo'lishi bilan vujudga kelgan bo'lsada, kompyuter ixtiro qilinganidan so'ng bunday ehtiyoj yanada ortdi.

Kodlash nazariyasining ta'sir sohasi real (yoki xalalli) kanallar bo'yicha ma'lumotlarni qamrab olsa, predmeti uzatilgan informatsiyaning korrektiligini ta'minlash hisoblanadi. Boshqacha aytganda, kodlash nazariyasi signal uzatilganidan so'ng ma'lumotlardan ishonchli va osongina foydali informatsiyani ajratib olishga imkon beruvchi ma'lumotlarni qanday joylashtirish lozimligini o'rganadi. Ba'zida kodlash nazariyasini shifrlash bilan almashtirishadi, ammo bu noto'g'ri. Chunki kriptografiya teskari masalani yechadi. Uning maqsadi – ma'lumotlardan informatsiyani ajratib olishni qiyinlashtirish.

Kodlash – xabarni berilgan kanal bo'yicha uzatish uchun qulay holga keltirish. Oddiy misol tariqasida xabarni *telegramma* ko'rinishida uzatishni ko'rsatish mumkin. Bunda barcha simvollar telegraf kodida kodlanadi.

Dekodlash – qabul qilingan xabarni tiklash amali. Aloqa sistemasida kodlash va dekodlash uchun qurilmalar ko'zda tutilishi lozim (4.1-rasm).



4.1-rasm. Xalalli aloqa kanalining informatsion modeli

Bunday sistemalarni nazariy asoslash K.Shennon tomonidan amalga oshirilgan. U qator teoremlar orqali kodlash va dekodlash qurilmalarining kiritilishi lozimligini asosladi. Kodlash va dekodlash qurilmalarining vazifalari informatsiya manbai xususiyatlarini aloqa kanallari xususiyatlari bilan muvofiqlashtirishdir. Ularning biri (kodlash qurilmasi yoki koder) shunday kodlashni amalga oshirishi lozimki, natijada informatsiya ortiqchaligini bartaraf etish yo'li bilan

xabar birligida simvollarning o'rtacha soni jiddiy kamaysin.

Bu esa o'z navbatida xalallar yo'qligida uzatishning vaqti yoki xotira qurilmasining hajmi bo'yicha yutuqqa ega bo'lishga imkon beradi. Bunday kodlash *samarali* deb ataladi, chunki u sistema samaradorligini oshiradi. Uzatish kanalida xalallar mavjudligida bunday kodlash kirish yo'li informatsiyasini uning keyinchalik ishlanishi masalasiga maqbul javob beruvchi ketma-ketlikka o'zgartirishga imkon beradi. Boshqa kodlash qurilmasi (kanal koderi) qo'shimcha informatsiya ortiqchaligini kiritish yo'li bilan informatsiyani uzatishda yoki saqlashda berilgan haqiqiylikni ta'minlaydi. Bunday kodlash *ortiqchali* yoki *xalallarga bardosh* kodlash deb yuritiladi.

Kodlar va kodlash nazariyasining asosiy tushunchalari. Kodlar maxfiy yozuv vositasi sifatida qadimdan ma'lum. Yunon tarixchisi Gerodot eramizdan avval V – asrda faqat adresatga tushunarli xatlarga misol keltirgan. Maxfiy *alfavit* Yuliy Sezar tomonidan ishlatilgan. Turli maxfiy shifrlarni yaratish ustida o'rta asr olimlari F.Bekon, D.Kardano va boshqalar ishlashgan. Juda antiqa shifrlar va kodlar paydo bo'ldi. Ammo vaqt o'tishi bilan ular rasshifrovka qilindi va ularning maxfiyligi yo'qoldi.

Aloqa kanallari bo'yicha xabarlarni uzatishga mo'ljallangan birinchi kod S.Morze kodi hisoblanadi. Bu kodda harf va sonlarni kodlashga mo'ljallangan simvollarning turli soni mavjud. Keyin telegrafiyada ishlatiluvchi N.Bodo kodi paydo bo'ldiki, unda har bir harf va son simvollarning bir xil soniga ega. Simvollar sifatida berilgan onda elektr zanjiridagi impulsning borligi yoki yo'qligini ko'rsatish mumkin.

Ikkita turli elementar signallarni ishlatuvchi kodlar *ikkilik kodlar* deb ataladi. Ushbu signallarni 0 va 1 simvollari yordamida belgilash qulay hisoblanadi. Unda kod so'zi nollar va birlar ketma-ketligidan iborat bo'ladi. Informatsiyani kodlash masalasiga raqamli ma'lumotlarni qandaydir o'zgartirish sifatida qarash mumkin. Xususiy holda ushbu amal simvollarni guruhlash (triadalar yoki tetradalar ko'rinishida ifodalash) yoki pozitsion sanoq sistemasidagi simvollar (raqamlar) ko'rinishida ifodalashga keltirilishi mumkin.

Kod soz'i har xil uzunlikda bo'lsa bunday kod *notekis kod* deb yuritiladi. Kodning tuzatish (korrektlash) qobiliyati tushunchasini

odatda xatolarni aniqlash va tuzatish imkoniyati bilan bog'lashadi. Miqdoran kodning tuzatish qobiliyati xatolikni aniqlash va tuzatish ehtimolligi orqali aniqlanadi. Ta'kidlash lozimki, asosiy e'tiborni yakka xatoliklarni aniqlash va tuzatishga qaratilishi lozimligi isbot qilingan.

Kodning tuzatish qobiliyati kod masofasi tushunchasi bilan ham bog'liq.

Kod kombinatsiyasining salmog'i $V(A)$ – kod kombinatsiyasidagi birlar soni. A va B kod kombinatsiyalari uchun kod masofasi $d(A, B)$ dastlabki kombinatsiyalarni 2ning moduli asosida xonalar bo'yicha jamlash orqali aniqlanuvchi uchinchi kombinatsiyaning salmog'i sifatida aniqlanadi. Ushbu masofa ba'zida Xemming masofasi deb ham yuritiladi.

Misol:

$A = 011011100$ va $B = 100111001$ kombinatsiyalari uchun salmoq va kod masofasi aniqlansin.

Yechish:

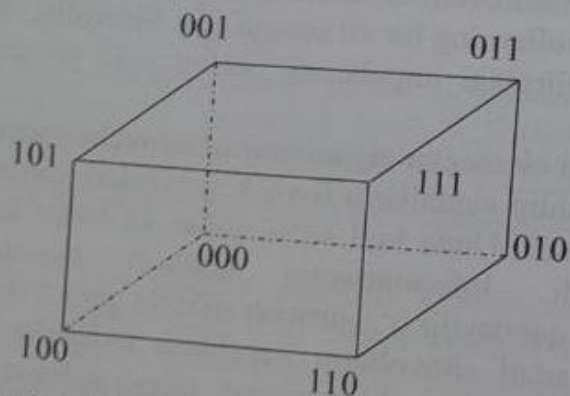
$$V(A) = 5; V(B) = 5.$$

Uchinchi kod kombinatsiyasi $C = A \oplus B = 111100101$.

Demak $d(A, B) = 6$.

Kodlarni qandaydir geometrik shakllar sifatida ko'rish mumkin.

Masalan, triadani ikkilik simvollarga mos keluvchi koordinata o'qlariga ega bo'lgan quyidagi birlik kub ko'rinishida ifodalash mumkin (4.2-rasm).



4.2-rasm. Triadaning ikkilik simvollarga mos keluvchi koordinata o'qlariga ega bo'lgan birlik kub ko'rinishi

Bunda kod masofasi kubning mos uchlari orasidagi yo'ylar uzunligi yig'indisi orqali aniqlanadi (bitta yoy uzunligi 1 ga teng deb qabul qilingan). Ma'lum bo'lishicha, har qanday pozitsion sistemada minimal kod masofasi 1 ga teng.

4.2. Simvol kodlar. Prefiks kodlar

Umumiy holda, ko'riladigan barcha kodlar birdan katta butun daraja ko'rsatkichli ixtiyoriy sanoq sistemasida ishlatilishi mumkin. Ikkilik sanoq sistemasi keng tarqalganligi sababli, keyingi mulohazalar ikkilik kodlarga asoslanadi.

Foydali kodga qo'yiladigan uchta asosiy talab mavjud. Birinchisi – har qanday kodlangan satr bir ma'noda dekodlanishi lozim. Ikkinchisi – simvol kod dekodlash uchun oddiy bo'lishi lozim. Uchinchisi – kod mumkin bo'lgan maksimal zichlashni ta'minlashi lozim. 4.1-jadvalda simvol kodlarga misollar keltirilgan.

Simvol kodlar misoli

4.1-jadval

Simvol	1-kod	2-kod	3-kod	4-kod	5-kod
a	00	00	0	1	0
b	00	01	1	10	10
c	01	10	11	100	110
d	11	11	100	1000	111

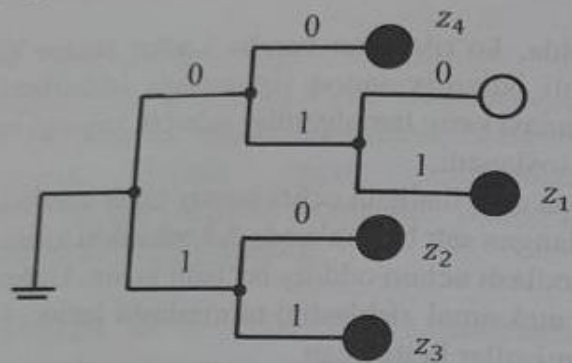
Kod bir ma'noli dekodlanuvchi hisoblanadi, agar kodning ixtiyoriy oxirgi ketma-ketligi birdan ko'p bo'lmagan xabarga mos kelsa 4.1-jadvalda keltirilgan 2,4,5-kodlar bir ma'noli dekodlanuvchi kodning misollari hisoblanadi.

Kod dekodlash uchun oddiy hisoblanadi, agar kod so'zining oxiri mos simvol olinishi bilan bir vaqtda aniqlanishi mumkin bo'lsa. Bu hech qanday kod so'zi boshqasining prefiksi bo'lmaganida sodir bo'ladi. Ikkilik ketma-ketlik "z" boshqa ikkilik ketma-ketlik "z" ning prefiksi hisoblanadi, agar "z" ning uzunligi "n"ga teng va "z"ning birinchi "n" bitlari "z" ketma-ketlikning tarkibiy qismini tashkil etsa.

Prefiks kod deb shunday kodga aytiladiki, birorta kod so'zi boshqasining boshlanishi hisoblanmaydi. Prefiks kod "bir lahzada dekodlanuvchi" sifatida ham ma'lum. Chunki kodlangan satr chapdan

o'ngga, keyingi kod so'zlarini olmasdan dekodlanishi mumkin. 4.1-jadvaldagi 2- va 5-kodlar – prefiks kodlar.

Prefiks kodni dekodlash uchun kod daraxti quriladi. Daraxtsimon kod tarkibida faqat kod daraxtining oxirgi uchlariga mos kod so'zlari bo'ladi. 4.3-rasmda {011,10,11,00} prefiks kod uchun bunday daraxt misoli keltirilgan.



4.3-rasm. Prefiks kod uchun kod daraxti

Kod mumkin bo'lgan maksimal zichlanishni ta'minlashi lozim. 4.2-jadvalda keltirilgan misolni ko'raylik.

4.2-jadval

Simvol	Ehtimolliklar	Kod
a	1/2	0
b	1/4	10
c	1/8	110
d	1/8	111

Entropiya

$$H = - \sum_{i=1}^4 p_i \log_2 p_i$$

$$= 0,5 \log_2 0,5 + 0,25 \log_2 0,25 + 2 * 0,125 \log_2 0,125$$

$$= 1,75 \text{ bit/simvol}$$

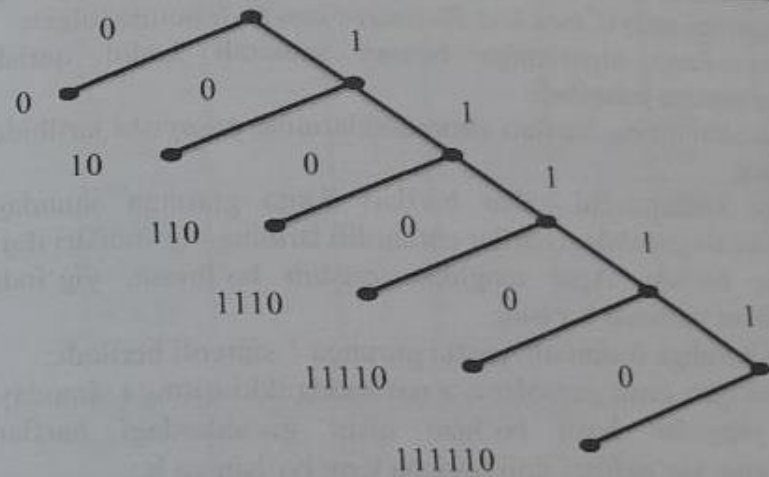
Kod kombinatsiyasining o'rtacha uzunligi ham $N_{o'rt} = \sum_i p_i * n = 1,75$.

To'rtta simvolni uzunligi o'zgaras kod orqali kodlashga uchta ikkilik xona kerakligi hisobga olinsa, bitta simvolga o'rtacha 1,25 ikkilik xona tejalganligini ko'rish mumkin.

acdbac ketma-ketlik 011011100110 kabi kodlanadi.

Universal kod(unar kod) – butun sonlarni ifodalashga mo'ljallangan uzunligi o'zgaruvchan prefiks kod. Kod nulli bit bilan tugallanuvchi, uzunligi kodlanuvchi songa teng bitlar ketma-ketligidan iborat. Shu tariqa nolni va barcha butun sonlarni kodlash mumkin. 4.4 – rasmda 0 dan 5 gacha sonlarning universal kodi keltirilgan.

n	код
0	0
1	10
2	110
3	1110
4	11110
5	111110



4.4-rasm.

Universal kod

Ushbu kodlardan kichik sonlarni kodlashda foydalanish qulay hisoblanadi.

4.3. Samarali kodlarni qurishning Shannon-Fano algoritmi

Xalalsiz kanallar uchun *Shannon teoremasiga* binoan qandaydir alfavitning harflaridan tuzilgan xabarlarini shunday kodlash mumkinki, bitta harfga to'g'ri keladigan ikkilik simvollarning o'rtacha soni ushbu xabarlar manbai entropiyasiga yaqin bo'ladi, ammo undan kam bo'lmaydi.

Bunday kodlar quyidagi shartni qanoatlantirsa maksimal samarali

hisoblanadi: $N_{opt} = H$,

ikkilik kodlar uchun $\sum_i p_i(A_i) \cdot n = -\sum_i p_i \log_2 p_i$

Teorema kodlashning muayyan usuliga ishora qilmaydi, ammo kod kombinatsiyasining har bir simbolini tanlaganda uning maksimal informatsiyani eltishini ta'minlashga harakat qilishi zarur. Demak, har bir simbol iloji boricha teng ehtimollik bilan 0 va 1 qiymatlarni olishi va har bir tanlov oldingi simvollar qiymatlariga bog'liq bo'lmasligi lozim.

O'zaro statistik bog'lanmagan xabarlar alfaviti harflari uchun samarali kodlarni qurish usullari ilk bor amerika olimlari Shennon va Fano tomonidan taklif etilgan. Ularning usullari, jiddiy farqlanmaganligi tufayli, mos kod *Shennon-Fano kodi* nomini olgan.

Shennon-Fano algoritmiga binoan samarali kodni qurish quyidagicha amalga oshiriladi:

- xabar alfavitining harflari ehtimolliklarining pasayishi tartibida joylashtiriladi;
- barcha kodlanuvchi xabar harflari ikkita guruhga shunday ajratiladiki, ikkala guruhdagi harflar ehtimolliklarining yig'indilari iloji boricha teng bo'lsin. Agar tenglikka erishib bo'lmasa, yig'indi orasidagi tafovut minimal bo'lsin;
- yuqori guruhga 0 simboli, pastki guruhga 1 simboli beriladi;
- hosil bo'lgan qism guruhlar o'z navbatida ikki qismga shunday ajratiladiki, yangidan hosil bo'lgan qism guruhlardagi harflar ehtimolliklarining yig'indilari iloji boricha teng bo'lsin va h.;
- jarayon har bir qism guruhda bitta harf qolgunicha takrorlanadi.

Misol:

Alfavitdagi harflarning paydo bo'lish ehtimolliklari:

$p(A_1)=0,25;$	$p(A_2)=0,25;$	$p(A_3)=0,125;$	$p(A_4)=0,125;$
$p(A_5)=0,0625;$	$p(A_6)=0,0625;$	$p(A_7)=0,0625;$	$p(A_8)=0,0625$

bo'lgan xabarning samarali notekis kodi qurilsin.

Yechish:

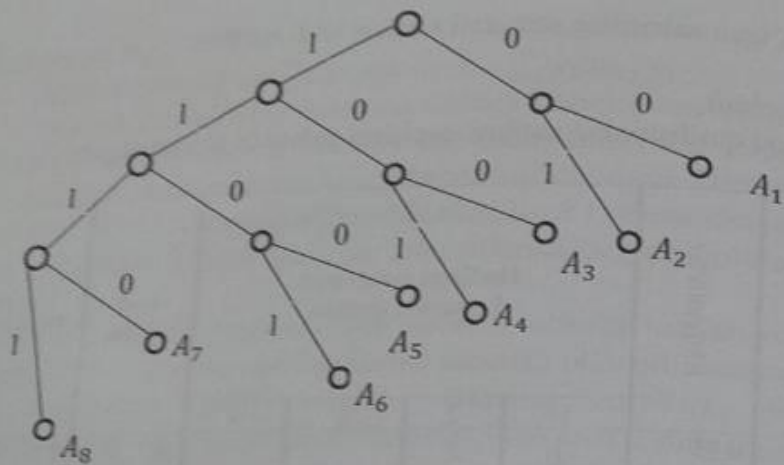
Kod qurilishining natijasi quyidagi jadvalda aks ettirilgan.

Harflar	Ehtimolliklar	Harflarni guruhlarga ketma-ket ajratish				Kod so'zlar	$p_i(A_i) \cdot n$	
		1	2	3	4			
A ₁	0.25	}	}			00	0.5	
A ₂	0.25							01
A ₃	0.125	}	}			100	0.375	
A ₄	0.125							101
A ₅	0.0625		}	}			1100	0.25
A ₆	0.0625							
A ₇	0.0625	}					1110	0.25
A ₈	0.0625							

Shunday qilib, quyidagi kodlar hosil qilindi:

A ₁ =00;	A ₂ =01;	A ₃ =100;	A ₄ =101;
A ₅ =1100;	A ₆ =1101;	A ₇ =1110;	A ₈ =1111

4.5-rasmda ko'rilayotgan misol uchun kod daraxti keltirilgan.



4.5-rasm. Ko'rilgan misol uchun kod daraxti

Harflar ehtimolliklari ikkining butun sonli manfiy darajasi bo'lganligi sababli kodlashda ortiqchalik to'raligicha bartaraf etiladi. Undan tashqari ushbu kodlar maksimal samarali notekis kodlardir.

Bunga ishonch hosil qilish uchun entropiyani va kod kombinatsiyalarining o'rtacha uzunligini hisoblaymiz.

$$H = - \sum_{i=1}^8 p_i \log_2 p_i = 2 \cdot 0.25 \log_2 0.25 + 2 \cdot 0.125 \log_2 0.125 +$$

$$+ 4 \cdot 0.0625 \log_2 0.0625 = 1 + 2 \cdot 0.375 + 4 \cdot 0.25 = 2.75$$

bit/simvol

$$N_{ort} = \sum_i p_i(A_i) \cdot n = 2 \cdot 0.5 + 2 \cdot 0.375 + 4 \cdot 0.25 = 2.75$$

Sakkizta simvollarni uzunligi o'zgarmas kod orqali kodlashda uchta ikkilik xona kerakligi hisobga olinsa, bitta simvolga o'rtacha 0,25 ikkilik xona tejalganligini ko'rish mumkin.

4.4. Samarali kodlarni qurishning Xaffmen algoritmi

Shannon Fano usuli doimo bir ma'noli kod qurishga imkon bermaydi, chunki qismguruxlarga ajratishda ehtimolligi bo'yicha

yuqoridagi yoki pastki qismguruxni katta deb hisoblash mumkin. Bunday kamchlik Xaffmen usulida yo'q.

- Xaffmen algoritmi bo'yicha samarali notekis kodni qurish quyidagicha amalga oshiriladi:
- xabarlar alfavitining harflari asosiy ustunga ehtimolliklarining pasayishi tartibida joylashtiriladi;
 - ikkita oxirgi harf bitta yordamchi harfga birlashtirilib, unga yig'indi ehtimollik yoziladi;
 - birlashtirishda ishtirok etmagan harflar ehtimolliklari hosil qilingan yig'indi ehtimolligi bilan birga ehtimolliklarining pasayishi tartibida yordamchi ustunga yoziladi va ohirgi ikkitasi birlashtiriladi va h;
 - jarayon yig'indi ehtimolligi 1 ga teng bo'lgan yagona yordamchi harf hosil qilinmaguncha davom etadi.

Misol:

Alfavitdagi harflarning paydo bo'lish ehtimolliklari:

$p(A_1)=0,25;$	$p(A_2)=0,25;$	$p(A_3)=0,125;$	$p(A_4)=0,125;$
$p(A_5)=0,0625;$	$p(A_6)=0,0625;$	$p(A_7)=0,0625;$	$p(A_8)=0,0625$

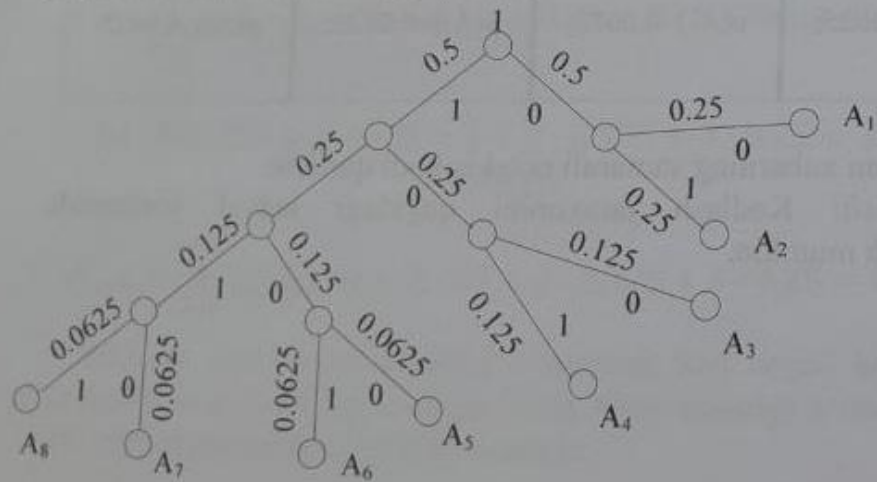
bo'lgan xabarning samarali notekis kodi qurilsin.

Yechish: Kodlash jarayonini quyidagi jadval yordamida tushuntirish mumkin.

Harflar	Ehtimolliklar	Yordamchi ustunlar						
		1	2	3	4	5	6	7
A ₁	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.5	0.5	1
A ₂	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.5	
A ₃	0.125	0.125	0.125	0.25	0.25	0.25		
A ₄	0.125	0.125	0.125	0.125	0.25			
A ₅	0.0625	0.125	0.125	0.125				
A ₆	0.0625	0.0625	0.125					
A ₇	0.0625	0.0625						
A ₈	0.0625							

Berilgan xabarga mos kod kombinatsiyasini aniqlash uchun harfning jadval qatori va ustuni bo'yicha o'tish yo'lini kuzatish zarur.

Ko'zga tashlanuvchanlikni ta'minlash maqsadida kod daraxti quriladi. Ehtimolliги birga mos nuqtadan ikkita shox yo'naltirilib, ehtimolliги katta shoxga 1 simvoli, ehtimolliги kichik shoxga 0 simvoli beriladi. Bunday ketma - ket shoxlash har bir harf ehtimolliгiga yetguncha davom ettiriladi (4.6-rasm).



4.6-rasm. Ko'rilayotgan misol uchun kod daraxti

Kod daraxti bo'yicha yuqoridan pastga qarab harakatlanib, har bir harf uchun unga mos kod kombinatsiyasini yozish mumkin.

A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
00	01	100	101	1100	1101	1110	1111

Hosil qilingan kodlardan ko'rinib turibdiki, ular Shennon-Fano usuli bo'yicha shakllangan kodlarga mos. Demak, Shennon-Fano va Xaffmen usullari bil xil samaradorlikka ega.

Shennon - Fano va Xaffmen usullarining afzalliklari

1. Ushbu usullar asosida qurilgan kodlar prefiks kodlar hisoblanganligi sababli dekodlash soddalashadi.
2. Kodlashning ushbu usullari, uzunliги o'zgarmas kodlarga nisbatan, uzunliги qisqaroq kodlarni qurishga imkon beradi.
3. Xabarni, uni butunlay olmasdan, kelgani sari dekodlash mumkin.

Shennon - Fano va Xaffmen usullarining kamchiliklari

1. Shennon - Fano va Xaffmen usullari bo'yicha kodlashda matndagi alfavit simvollarining paydo bo'lish ehtimolliklari ishlatiladi. Ya'ni kodni qurishda ushbu informatsiyaga ega bo'lish lozim. Shu sababli, kodlanuvchi barcha ketma-ketlikni oldindan bilish kerak.

2. Dekoder faylni dekodlashi uchun koder foydalangan chastotalar jadvalini zichlangan faylga yozish lozim. Demak, zichlangan xabar uzunliги chastotalar jadvali uzunliгiga ortadi. Bu esa zichlash uchun o'rinli hisoblanmaydi.

3. Kodlash boshlanishidan oldin, to'liq chastotalar statistikasining mavjudliги zaruriyati, xabar bo'yicha ikkita tahlilni bajarishni taqozo etadi: birinchisi-xabar modelini qurish uchun; ikkinchisi-kodlashni amalga oshirish uchun.

4.5. Eliasning samarali kodlari

Elias kodlarini qurishda Shennon-Fano va Xaffmen kodlaridagi simvollarining paydo bo'lish ehtimolliklari talab etilmaydi. Ushbu kodlar shifrlashda ishlatilishi mumkin, chunki ushbu kodlarni qurish va dekodlash tezliги, boshqa mavjud kodlarga nisbatan, yuqori. Bu esa hozirda juda muhim hisoblanadi. Ammo, aksariyat Elias kodlarining uzunliги sonlarning oddiy ikkilik ifodasi uzunliгiga nisbatan katta. Bu Elias kodlarini ishlatish sohasini cheklaydi. Shu sababli, ushbu

kodlardan kichik sonlarni kodlashda foydalanish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Eliasning gamma-kodi

Ushbu kod Piter Elias tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, musbat butun sonlarni kodlashning universal kodi hisoblanadi. U odatda maksimal qiymati oldindan ma'lum bo'lmagan butun sonlarni kodlashda ishlatiladi.

Kodlash:

- son ikkilik ifodada yoziladi;
- ikkili ifoda oldi nullar bilan to'ldiriladi. Nullar soni ikkilik ifodadagi bitlar sonidan bittaga kam bo'lishi kerak.

Dekodlash:

- birinchi bir raqamigacha uchraydigan barcha nullarni sanash lozim. Aytaylik N - ushbu nullar soni;
- butun sonning birinchi (eng ma'noli) 2^N qiymatli biti bo'lib qoluvchi 1 ni e'tiborga olgan holda, butun sonning qolgan N raqamini hisoblash lozim.

Kodlash va dekodlash jarayonini 4.3-jadval yordamida tushuntirish mumkin.

4.3-jadval

Son	Ikkilik ifodalash	Bitlar soni	Eliasning gamma-kodi
1	1	1	1
2	10	2	010
3	11	2	011
4	100	3	00100
5	101	3	00101
6	110	3	00110
7	111	3	00111
8	1000	4	0001000
9	1001	4	0001001
10	1010	4	0001010
11	1011	4	0001011
12	1100	4	0001100

$N = 12$ sonini kodlash va dekodlash misoli.

Kodlash:

- 12 sonining ikkilik ifodasi -1100 yoziladi;
- yozilgan ikkilik ifoda oldiga uchta "0" yoziladi - 0001100

Dekodlash:

- birinchi "1" gacha bo'lgan nullar soni o'qiladi - $N = 3$;
- 1 va $N = 3$ bit o'qiladi. $2^3 + 100 = 12$.

Eliasning delta-kodi

Eliasning delta-kodi Eliasning gamma-kodining modifikatsiyasi hisoblanadi. Unda sonning ikkilik ifodasidagi xonalar soni ham Eliasning gamma-kodi yordamida kodlanadi.

Kodlash:

- son ikkilik ifodada, katta xonadagi birsiz yoziladi;
- sonning ikkilik ifodasi oldiga dastlabki sondagi bitlar soni gamma-kodida yoziladi.

Dekodlash:

- birinchi bir raqamigacha uchraydigan barcha nullarni sanash lozim. Aytaylik M -ushbu nullar soni;
- birdan keyin N soni $M=2$ bit kichik xonalari keladi, ularni o'qish lozim va natijada 2^M qiymatni qo'shish kerak;
- undan so'ng N ning $L-1$ kichik xonalari keladi, ularni o'qish lozim va natijaga 2^{L-1} qiymatni qo'shish kerak.

10(1010₂) sonini Eliasning delta-kodlash usuli bo'yicha kodlash va dekodlash misoli.

Kodlash:

- son ikkilik ifodada katta xonadagi birsiz yoziladi → 010;
- hosil bo'lgan ikkilik ifoda oldiga dastlabki sondagi bitlar soni gamma kodda yoziladi → 00100010.

Dekodlash:

- bitlar ketma-ketligidan 001 o'qiladi, demak $M = 2$;
- keyingi $M = 2$ bitlar o'qiladi → 00₂, demak $L = 2^2 + 00_2 = 4$.
- keyingi $L - 1$ bitlar o'qiladi → 0010₂, demak $N = -2^{L-1} + 0010_2 = 2^{4-1} + 0010_2 = 8 + 2 = 10$.

Kodlash va dekodlash jarayonini 4.4-jadval yordamida

4.4-jadval

Son	Ikkilik ifodalash	Bitlar soni	Bitlar sonining gamma-kodi	Eliasning delta-kodi
1	1	1	1	1
2	10	2	010	010 0
3	11	2	010	010 1
4	100	3	011	011 00
5	101	3	011	011 01
6	110	3	011	011 10
7	111	3	011	011 11
8	1000	4	00100	00100 000
9	1001	4	00100	00100 001
10	1010	4	00100	00100 010
11	1011	4	00100	00100 011
12	1100	4	00100	00100 100

Eliasning omega-kodi

Eliasning omega-kodi – musbat sonlarni kodlovchi universal kod. Ushbu kod, Eliasning gamma va delta kodlariga o'xshab, butun sonlar boshlanishi oldiga uning qiymatining tartibi universal kodda yozib qo'yiladi. Ammo, yuqorida keltirilgan kodlardan farqli o'laroq, omega-kod prefiksni rekursiv kodlaydi. Aynan shu sababli ushbu kod *Eliasning rekursiv kodi* nomi bilan ham ma'lum.

Kodlash:

- kod oxiriga "0" yoziladi;
 - agar $N = 1$ bo'lsa kodlash tugallangan hisoblanadi;
 - kodning boshlanishi oldiga N sonining ikkilik ifodasi qo'shiladi.
- Bu bo'lmaganida ikkita bit bo'lib, bittasi "1"ga teng bo'ladi;
- aytaylik, N qo'shilgan bitlar sonidan bittaga kam bitlar soniga teng;
 - ikkinchi qadamga qaytiladi.

Dekodlash:

- dekodlash qiymati "1" ga teng N o'zgaruvchidan boshlanadi;

- agar keyingi bit "0" ga teng bo'lsa, dekodlanuvchi son N ga teng bo'ladi;
- agar keyingi bit "1" ga teng bo'lsa, uni N bitlarga qo'shib o'qiladi va ushbu ikkilik son N ning yangi qiymati sifatida ishlatiladi;
- ikkinchi qadamga qaytiladi.

Kodlash va dekodlash jarayonini 4.5-jadval yordamida tushuntirish mumkin.

4.5-jadval

Son	1-qadam	2-qadam	3-qadam	Eliasning omega-kodi
1	0			0
2	0	100		100
3	0	110		110
4	0	1000	101000	101000
5	0	1010	101010	101010
6	0	1100	101100	101100
7	0	1110	101110	101110
8	0	10000	1110000	1110000
9	0	10010	1110010	1110010
10	0	10100	1110100	1110100
11	0	10110	1110110	1110110
12	0	11000	1111000	1111000

$N = 12$ sonini kodlash va dekodlash misoli.

Kodlash:

- "0" yoziladi;
- "0" dan oldin 12 ning ikkilik ifodasi yoziladi 12(11000);
- $N = 4 - 1 = 3$ (1100 ketma-ketlik uzunligi minus 1);
- o'ng tomonga 1111000 ikkilik ifoda yoziladi;
- $N = 1$, demak, 1111000 ketma-ketlik 12 sonini kodlaydi.

Dekodlash:

- $N = 1$;
- $11 * N = 3$ guruh o'qiladi;
- $1100 * N = 12$ guruh o'qiladi;
- keyingi bit "0"; shu sababli kodlangan son -12.

1. Xalalli aloqa kanalining informatsion modelini keltiring.
2. Notekis kod nima?
3. Kod salmog'i qanday aniqlanadi?
4. Kod masofasi qanday aniqlanadi?
5. Foydali kodlarga qo'yiladigan asosiy talablar.
6. Prefriks kod.
7. Universal kod.
8. Shennon-Fano algoritmini so'zlab bering.
9. Qanday kodlarga samarali notekis kodlar deyiladi?
10. Samarali notekis kodlarning maksimal samarali bo'lishi shartini keltiring.
11. Xaffmen algoritmini so'zlab bering.
12. Xaffmen algoritmining Shennon-Fano algoritmidan farqi nimada?
13. Kod daraxti qanday quriladi?
14. Shennon – Fano va Xaffmen usullarining afzalliklari va kamchiliklari.
15. Elias kodlarining Shennon-Fano va Xaffman kodlaridan farqi nimada?
16. Eliasning Gamma-kodi.
17. Eliasning Delta-kodi.
18. Eliasning Omega-kodi.

5-BOB. XALALLARGA BARDOSH KODLASH

5.1. Xalallarning umumiy xarakteristikasi

Xalallar deganda olingan xabarning uzatilganidan tasodifiy farqlanishiga sabab bo'luvchi har qanday g'alayon tushuniladi. Xalallar odatda vujudga kelish joyi bo'yicha, statistik xususiyati bo'yicha va foydali signalga ta'sir xarakteri bo'yicha tasniflanadi.

Vujudga kelish joyi bo'yicha xalallarni tashqi va ichkilarga ajratish mumkin. Tashqilariga manbai informatsiya uzatish sistemalaridan tashqarida joylashgan xalallar taalluqli:

- atmosfera xalallari;
- quyosh va boshqa samoviy jismlarning radionurlanishi sabab bo'luvchi kosmik xalallar;
- turli elektr qurilma va agregatlar ishlashi tug'diruvchi sanoat xalallari.

Ichki xalallar informatsiyani uzatish sistemasi apparaturasining ichida vujudga keladi:

- yarim o'tkazgichli asboblardagi, rezistorlardagi va boshqa elementlardagi issiqlik shovquni ko'rinishidagi xalallar;
- aloqa liniyalari parametrlarining o'zgarishi, liniyalarning bir-biriga ta'siri hamda aloqaning qisqa muddatli uzilishi vujudga keltiruvchi xalallar;
- signalni o'zgartirishda sistemaning alohida elementlarida vujudga keluvchi xalallar (kvant shovquni);
- apparaturaning nosozligi va yetarlicha to'liq sozlanmaganligi sababli vujudga keluvchi xalallar.

Xalallar xususiyatlari bo'yicha deterministik va tasodifiy bo'lishi mumkin. Deterministik xalallardan himoyalanih qiyinchilik tug'dirmaydi.

Barcha tasodifiy xalallarni uchta guruhga ajratish mumkin:

- impuls xalallar;
- flyuktatsion xalallar;
- sinusoidal xalallar.

Impuls xalallar, umumiy holda, amplitudasi, davomliligi va vujudga kelish vaqti tasodifiy bo'lgan, ixtiyoriy shaklli impulslar ketma-ketligi sifatida ifodalanadi. Momoqaldiroq, ichki yonuv

dvigatellarining o't oldirgich tizimi, kommutatsiya jarayonlari va h. bilan bog'liq xalallar impuls xalallarga xarakterli misollar hisoblanadi. Flyuktatsion xalallar tasodifiy parametrli, qisqa muddatli nomuntazam ko'p sonli impulslar majmuidan iborat. Alohida impulslar ta'siridagi o'tkinchi jarayonlar bir-biriga qo'shib uzluksiz tasodifiy jarayonni hosil qiladi. O'tkinchi jarayonning davomligi informatsiyani uzatish kanalining o'tkazish qobiliyati orqali aniqlanishi sababli, xalallar xarakteri kanal polosasi kengligiga bog'liq. Xalal keng polosali sistema uchun impulsi, tor polosali sistema uchun esa flyuktatsion bo'lishi mumkin.

Flyuktatsion xalallar odatda rangsiz shovqun (beliy shum) yoki rangsiz gaus shovqunidan iborat. Rangsiz gaus shovquni tarqalishi va umuman bartaraf etilishi mumkin emasligi bilan xarakterli.

Sinusoidal xalallar amplitudasi, fazasi va chastotasi tasodifiy o'zgaruvchi sinusoidal tebranishlardan iborat. Ushbu xalallarning parametrlari sekin o'zgaradi, natijada sinusoidal xalallarni modulyatsiyalovchi funksiya spektri kengligi, ma'lum bo'lishicha, kanalning o'tkazish polosasiga nisbatan amaliy jihatdan kichik. Sinusoidal xalallar manbayiga misol tariqasida begona radioqurilmalarni, o'zgaruvchan tok generatorlarini va h. ko'rsatish mumkin.

Foydali signalga ta'sir etish xarakteri bo'yicha xalallar additiv va multiplikativlarga bo'linadi. Additiv xalal – tasodifiy qo'shiluvchi signalga bog'liq bo'lmagan xalal. Additiv xalalni ba'zida "shovqun" deb ham atashadi. Multiplikativ xalal – tasodifiy ko'paytiruvchi signalga bog'liq bo'lmagan xalal. Amalda uchraydigan aksariyat xalallar additiv xalallar guruhiga mansub. Multiplikativ xalallarga misol tariqasida informatsiyani uzatuvchi kanal xarakteristikalarining tasodifiy o'zgarishi hisobiga signalning buzilishini ko'rsatish mumkin.

Barcha tasodifiy xalallar tasodifiy jarayondan iborat va ehtimolliklarning taqsimot funksiyalari yordamida tavsiflanadi.

5.2. Xalallarga bardosh kodlash

Xalalli kanallar uchun *Shannon teoremasiga* binoan simvollarni kodlashning mos usullarini tanlash yo'li bilan kanaldagi xalallar ta'siridagi xatoliklar ehtimolligini pasaytirish mumkin. Teoremadan

kanaldagi xalallarning informatsiyani uzatish aniqligiga emas, balki uzatish tezligiga cheklovlar qo'yilishi xulosasi kelib chiqadi. Ammo, Shannon teoremasida xalallarga bardosh kodlarning qanday qurilishi lozimligi aytilmaydi. Bu savolga xalallarga bardosh kodlash nazariyasi javob beradi.

Informatsiya yaxlitligining buzilishi uning informatsion sistemalarda aylanish bosqichlarida, ya'ni informatsiyani saqlashda, uzatishda va ishlashda sodir bo'lishi mumkin.

Informatsiya yaxlitligi deganda avtorizatsiyalanmagan foydalanuvchi yoki jarayon tomonidan uning modifikatsiyalanishi mumkin emasligi tushuniladi.

Informatsiya yaxlitligining buzilishi tasodifiy va atayin bo'lishi mumkin. O'z navbatida tasodifiy buzilishlar, tabiiy omillar ta'siri bilan bog'liq, tabiiy yoki sun'iy bo'lishi mumkin. Tasodifiy sun'iy buzilishlar inson faoliyati (xodimning tasodifiy xatosi) bilan bog'liq.

Atayin buzilishlar doimo buzg'unchining aniq bir maqsadga yo'naltirilgan harakatlari bilan bog'liq. Bunday va boshqa harakatlar natijasida informatsiyaning raqamli ifodalanishida (ishlatiluvchi sanoq sistemasi va informatsiyani ifodalash shakliga bog'liq bo'lmagan holda) simvollarning qandaydir soni buziladi va shu nuqtai nazardan informatsiya yaxlitligiga tahdid ro'y beradi deb hisoblash mumkin. Shu sababli informatsion sistemalar va ularning elementlarini ishlab chiqish va ekspluatatsiyasida informatsiya yaxlitligini ta'minlash dolzarb masala hisoblanadi.

Informatsiya yaxlitligini ta'minlash uchun informatsiya tarkibiga ortiqcha informatsiya kiritiladi. Ortiqcha informatsiyani shakllantirish muolajasi ma'lum va kodlashning xalallarga bardosh usullariga mansub.

Xalallarga bardosh kodlash vazifasi- xalallarga bardosh kodlarni qo'llab informatsiya yaxlitligini ta'minlash.

Xalallarga bardosh tuzatuvchi kodlash informatsion xabardagi buzilishlarni aniqlovchi va bartaraf etuvchi dasturiy-apparat vositalarni amalga oshirishga imkon beradi. Xatoliklarni tuzatuvchi kodlash, mohiyatan, aloqaning raqamli kanallari bo'yicha informatsiya oqimini uzatish ishonchligini oshirishga mo'ljallangan signallarni ishlash usuli hisoblanadi. Garchand kodlashning turli sxemalari bir biridan farqlansada va turli matematik nazariyalarga asoslansada, ularning

barchasiga quyidagi ikkita umumiy xususiyat xos.

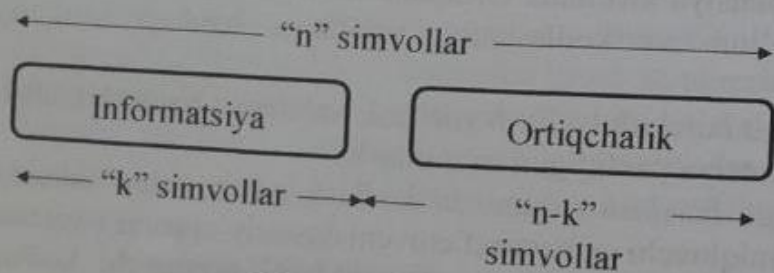
1. Kod so'ziga nisbatan informatsiya ortiqchaligidan foydalanish. Kodlangan raqamli xabarlar tarkibida doimo qo'shimcha (ortiqcha) simvollar mavjud. Ulardan, informatsiya yaxlitligini tiklash qoidasi yoki algoritmini belgilab, har bir xabarning o'ziga xosligini yanada ma'nodorligini ko'rsatish uchun foydalaniladi.

2. Xatoliklar ta'sirini o'rtalashtirish. O'rtalashtirish samaradorligiga ortiqcha simvollarining bir qancha informatsion simvollarga bog'liqligi hisobiga erishiladi. Xalalli kanallarda xalallarga bardosh kodlash xabarlarini uzatish ishonchliligini oshirishning samarali vositasi hisoblanadi. Xalallarga bardosh kodlash xalallar ta'siri tug'diruvchi xatoliklarni tuzatuvchi maxsus kodlardan foydalanishga asoslangan.

Informatsiyani saqlash yoki uzatish jarayonida paydo bo'luvchi xatoliklarni tuzatishda kod ortiqchaligining ishlatilishi barcha tuzatuvchi kodlar uchun bazaviy algoritm hisoblanadi.

Xabarga ortiqchalik qanday kiritilishi bo'yicha blokli kodlar va rekurrent (сверточные) kodlar farqlanadi.

Blokli kodlashda ishlatiluvchi algoritmgaga muvofiq informatsion simvollarining har bir bloki informatsion xabarning boshqa bloklariga bog'liq bo'lmagan holda ishlanadi. Boshqacha aytganda, blokli kodlashda kod so'zlari bir-biriga bog'liq emas. Shu ma'noda blokli kodlash *xotirasiz kodlash* hisoblanadi. Blokli kodlashda ortiqcha simvollar informatsion simvollar ketidan yoziladi (5.1-rasm). Natijada *sistematik* deb ataluvchi kod ketma-ketligi yoki kod so'zi tashkil etiladi.



5.1-rasm. Sistematik kod

Rekurrent (сверточные, zanjir) kodlashda ishlatiluvchi algoritmgaga muvofiq koder nafaqat ushbu ondagi informatsion simvollarga, balki koderning kirish yoki chiqish yo'llaridagi oldingi

simvollarga ham bog'liq. Shu ma'noda rekurrent kodlash *xotirali kodlash* hisoblanadi. Rekurrent kodlar informatsion xabarlardagi buzilishlarni aniqlash va tuzatish maqsadida ikkilik simvollarining uzluksiz ketma-ketligini, unga maxsus nazorat (ortiqcha) simvollarini kiritish yo'li bilan, kodlashda ishlatiladi.

Hozirda mavjud xalallarga bardosh kodlarning aksariyatida qo'shimcha shartlar ularning algebraik strukturalarining natijasi hisoblanadi. Shu sababli ular *algebraik kodlar* deb yuritiladi.

Ajraluvchi va ajralmaydigan blok kodlar farqlanadi. Ajraluvchi kodlar yordamida kodlashda chiqish yo'li ketma-ketligi vazifalari aniq chegaralangan simvoldan tashkil topadi. Bu kanal koderi kirish yo'liga beriluvchi simvollar ketma-ketligi bilan bir xil bo'lgan informatsion simvollar hamda xatoliklarni aniqlashga va tuzatishga xizmat qiluvchi dastlabki ketma-ketlikka kiritiluvchi ortiqcha (tekshiruvchi) simvollar.

Ajralmaydigan kodlar yordamida kodlashda chiqish yo'li ketma-ketligining simvollarini informatsion va tekshiruvchilarga ajratish mumkin emas.

Ajraluvchi blok kodlarning eng katta sinfini sistematik yoki chiziqli blok kodlar tashkil etadi. Bunday kodlarda tekshiruvchi simvollar ma'lum informatsion simvollar ustida chiziqli amallar bajarilishi natijasida aniqlanadi. Ikkilik kod uchun har bir tekshiruvchi simvol shunday tanlanadiki, uning ma'lum informatsion simvollar bilan 2ning moduli bo'yicha yig'indisi nolga teng bo'lsin.

Dekodlash simvollarining ma'lum guruhini juftlikka tekshirishga keltiriladi. Shu sababli bunday kodlar *juftlikka tekshirishli kodlar* nomini olgan.

Rekurrent (сверточные, zanjir) kodlarda kodlanuvchi informatsion simvollar ketma-ketligiga ortiqcha simvollarini kiritish uzluksiz ravishda, uni bloklarga ajratmasdan amalga oshiriladi. Uzluksiz kodlar ham ajraluvchi va ajralmaydigan bo'lishi mumkin. Ushbu kodlar texnik amalga oshirilishi nuqtai nazaridan eng sodda hisoblanadi.

Asosiy tushunchalar. Xalallar ta'sirida xatolik kod kombinatsiyasining faqat bitta xonasida sodir bo'lsa, bunday xatolik *bir karrali* deb ataladi. Ikki, uch va h. xonalarda xatolik bo'lsa, bunday xatolik mos holda *ikki karrali*, *uch karrali* va h. deb ataladi.

Kod kombinatsiyasidagi buzilgan simvollar joyini ko'rsatishda xatolik vektori tushunchasidan foydalaniladi. n xonali kodning xatolik vektori - n xonali kombinatsiya bo'lib, undagi birlar kod kombinatsiyasidagi buzilgan simvollar o'rnini ko'rsatadi.

Xatolik vektorining salmog'i xatolik karraligini xarakterlaydi. Buzilgan kod kombinatsiyasi va xatolik vektorining 2ning moduli bo'yicha yig'indisi dastlabki buzilmagan kod kombinatsiyasini beradi.

Yuqorida aytib o'tilganidek, ikkita ixtiyoriy kod kombinatsiyalarining farqini aniqlashda kodlar orasidagi masofa xarakteristikasidan foydalaniladi.

Ikkita ruxsat etilgan kod kombinatsiyalari orasidagi eng kichik masofa *minimal kod masofasi* deb ataladi va kodning bu xarakteristikasi uning tuzatish qobiliyatini belgilaydi.

Kodlash nazariyasida sistematik kodlar (informatsion xonalardan tashqari nazorat xonalariga ega kodlar) minimal kod masofasi $2t$ ga teng yoki undan katta bo'lgandagina xatoliklarni aniqlay olishi isbot qilingan, ya'ni

$$d_{min} \geq t + 1$$

bu yerda t - aniqlanuvchi xatoliklarning karraligi (yakka xatoliklarda $t = 1$ va h.).

Nafaqat xatoliklarni aniqlash, balki uni tuzatish (xatolik o'rnini ko'rsatish) talab qilinganida minimal kod masofasi quyidagicha bo'lishi shart.

$$d_{min} \geq 2t + 1$$

Misol:

1100 kod kombinatsiyasi uzatilgan, xatolik vektorining salmog'i $V_e = 2$.

- buzilgan kod kombinatsiyalarining bo'lishi mumkin bo'lgan variantlari aniqlansin;

- barcha xatoliklarni aniqlashga zarur kod masofasi aniqlansin.

Yechish:

1) Buzilgan kombinatsiyalar dastlabki kombinatsiyani xatolik vektoriga 2ning moduli bo'yicha jamlash orqali aniqlanadi.

$V_e = 2$ da xatolik vektorining quyidagi variantlari bo'lishi mumkin:

$\bar{e} = 0011; 0101; 1001; 0110; 1010; 1100.$

Demak, buzilgan kombinatsiya variantlari quyidagicha:
1111; 1001; 0101; 1010; 0110; 0000.

2) $V_e = 2$ da xatolik karraligi $t = 2$. Bunday xatoliklarni aniqlash uchun zarur minimal kod masofasi $d_{min} \geq t + 1 = 2 + 1 = 3$.

5.3. Kodning tuzatish qobiliyati bilan kod masofasi orasidagi bog'liqlik

Aytaylik karraligi $t=1$ va undan katta barcha xatoliklarni aniqlovchi kodni qurish kerak bo'lsin.

Bunday kodni qurish uchun mumkin bo'lgan $N_0 = 2^n$ kombinatsiyalar to'plamidan ruxsat etilgan $N = 2^k$ kombinatsiyalarni shunday tanlab olish kerakki, ulardan ixtiyoriysining salmog'i $V_e < t$ bo'lgan ixtiyoriy xatoliklar vektori bilan 2ning moduli bo'yicha jamlanganda tanlangan ruxsat etilgan kombinatsiya olinsin. Buning uchun qo'yidagi shart qanoatlantirilishi lozim:

$$d_{min} \geq t + 1$$

Kod kombinatsiyasining tuzatuvchi sifatida ishlatilishi uchun taqiqlangan kod kombinatsiyalari bir-birini kesib o'tmaydigan qism to'plamlarga ajratiladi.

Qism to'plamlarning har biriga ruxsat etilgan kombinatsiyalarining biri moslashtiriladi. Agar qabul qilingan taqiqlangan kombinatsiya qandaydir qism to'plamga taalluqli bo'lsa ushbu to'plamga moslashtirilgan ruxsat etilgan kombinatsiya uzatilgan deb hisoblanadi va xatolik tuzatiladi.

Misol tariqasida uzunligi $n = 3$ bo'lgan kodni ko'raylik.

Bunday kodning bo'lishi mumkin bo'lgan kombinatsiyalari 5.1-jadvalda keltirilgan.

5.1-jadval

A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
000	001	010	011	100	101	110	111

Kod kombinatsiyalari orasidagi masofa matritsasi 5.2-jadvalda keltirilgan.

5.2-jadval

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
A_1	0	1	1	2	1	2	2	3
A_2		0	2	1	2	1	3	2
A_3			0	1	2	3	1	2
A_4				0	3	2	2	1
A_5					0	1	1	2
A_6						0	2	1
A_7							0	1
A_8								0

Kodning bir karrali xatoliklarni aniqlanishini ta'minlashi uchun bo'lishi mumkin bo'lgan kombinatsiyalar to'plami $N_0 = 8$ dan ruxsat etilganlari sifatida shundaylarini tanlab olish kerakki, ular orasidagi masofa $d = 2$ dan kam bo'lmasin. Masofalar matritsasidan ko'rinib turibdiki, ruxsat etilgan kombinatsiyalar sifatida quyidagilarni tanlash mumkin:

$$A_1 = 000; \quad A_4 = 011; \quad A_6 = 101; \quad A_7 = 110.$$

Ikki karrali xatoliklarni aniqlash uchun kod masofasi $d_{min} = 3$ bo'lishi lozim. Bunda ruxsat etilgan kombinatsiyalar sifatida quyidagilarni tanlash mumkin: $A_1 = 000; \quad A_8 = 111$.

Quyidagi shartning to'g'riligi shubhasiz: $d \leq n$

Demak, ushbu holda ikki karrali xatoliklar aniqlanishi mumkin emas, chunki bunday xatoliklar natijasida ruxsat etilgan kombinatsiyalarning o'zi bir-biriga

$n = 3$ qiymatda o'tadi.

Aytaylik, bir karrali xatoliklarni bartaraf etuvchi kodni qurish kerak bo'lsin. Birinchi ruxsat etilgan kombinatsiya sifatida $A_1 = 000$ ni tanlaymiz. Bir karrali xatoliklar mavjudligida A_1 kombinatsiyasi $A_2 = 001; \quad A_3 = 010$ va $A_5 = 100$ ruxsat etilmagan kombinatsiyalarining

biriga o'tishi mumkin. A_2, A_3 va A_5 kombinatsiyalarni A_1 kombinatsiyasining ruxsat etilmagan (taqiqlangan) qismto'plami sifatida qabul qilish mumkin. Yani, ushbu qismto'planning biror bir kombinatsiyasi qabul qilinsa, A_1 kombinatsiyasi uzatilgan deb xulosa qilinadi.

Ikkinchi ruxsat etilgan kombinatsiya sifatida birinchisidan $d = 2$ masofadagi $A_4 = 011$ kombinatsiyani tanlaymiz. Unga $A_2 = 001 \quad A_3 = 010$ va $A_8 = 111$ kombinatsiyalar qismto'plami mos kelishi lozim. Ammo taqiqlangan qismto'plamlarining kesishishi sodir bo'ldiki, A_2 yoki A_3 taqiqlangan kombinatsiyalar qabul qilinganida A_1 signal uzatilganligini yoki A_4 signal uzatilganligini bir ma'noda aniqlash mumkin emas.

Agar ikkinchi ruxsat etilgan kombinatsiya sifatida birinchisidan $d = 3$ masofadagi $A_8 = 111$ tanlansa, bu kombinatsiyaga $A_4 = 011; \quad A_6 = 101$ va $A_7 = 110$ taqiqlangan kombinatsiyalari qismto'plami mos keladi. Bunda taqiqlangan qismto'plamlari kesishmaydi. Demak, $d = 3$ da barcha bir karrali xatoliklar bartaraf etilishi ta'minlanadi.

Umumiy holda, σ karrali xatoliklarni bartaraf etish uchun kod masofasi quyidagi shartni qanoatlantirishi lozim: $d_{min} \geq 2\sigma + 1$

Mulohazalar natijasida aniqlash mumkinki, karraligi σ dan katta bo'lmagan barcha xatoliklarni tuzatish va bir vaqtda t dan ($t \geq \sigma$) katta bo'lmagan barcha xatoliklarni aniqlash uchun kod masofasi quyidagi shartni qanoatlantirishi lozim:

$$d_{min} \geq t + \sigma + 1$$

Ta'kidlash lozimki, kod yordamida aniqlangan xatolik $t > \sigma$ karralikka ega bo'lsa, bunday xatolik bartaraf etilishi mumkin emas, ya'ni bu holda kod xatolikni faqat aniqlaydi.

Misol:

Ruxsat etilgan kombinatsiyalari:

00000; 01110; 10101; 11011;

bo'lgan kodning tuzatish qobiliyatini aniqlash talab etilsin.

Yechish:

Kodning tuzatish qobiliyati kod masofasi yordamida aniqlanadi.

Kod kombinatsiyalari orasidagi masofalar matritsasini tuzamiz.

	00000	01110	10101	11011
00000	0	3	3	4
01110		0	4	3
10101			0	3
11011				0

Matritsadan ko'rinib turibdiki, kod masofasi $d_{min} = 3$. Demak, berilgan kod quyidagilarga qodir:

1. Ikki karrali xatolikni aniqlash.
2. Bir karrali xatoliklarni bartaraf etish.
3. Bir karrali xatoliklarni aniqlash va bartaraf etish.

5.4. Berilgan tuzatish qobiliyatli kodlarni qurish

Hozirgacha tuzatuvchi qobiliyatli kodlarni qurganda kod uzunligi n berilgan deb faraz qilgan edik. Kodning tuzatish qobiyatiga n saqlangan holda ruxsat etilgan kombinatsiyalar to'plami N ni (yoki informatsion simvollar k ni) kamaytirish evaziga erishilgan edi. Odatda esa kodni qurish teskari tartibda amalga oshiriladi: avval manbaa alfaviti hajmiga muvofiq informatsion simvollar soni k aniqlanadi, so'ngra ortiqcha simvollarini qo'shish evaziga kodning kerakli tuzatish qobiliyati ta'minlanadi.

Aytaylik, manbaa alfavitining hajmi N ma'lum. Informatsion simvollarining kerakli soni quyidagicha aniqlanadi:

$$k = \log_2 N;$$

Tuzatilishi lozim bo'lgan xatolik vektorlarining soni E ham ma'lum bo'lsin. Masala shundan iboratki, berilgan N va E da istalgan tuzatish qobiliyatiga ega kod uzunligi n aniqlansin. Tuzatilishi lozim bo'lgan xatolik kombinatsiyalarining to'liq soni:

$$E \cdot 2^k = E \cdot N.$$

Xatolik kombinatsiyalarining soni $N_0 - N$ bo'lganligi sababli, kod $N_0 - N$ dan katta bo'lmagan kombinatsiyalarni tuzatishni ta'minlaydi.

yoki,

$$NE \leq N_0 - N_0$$

$$N_0 \geq (1 + E)N$$

yoki,

$$N \leq \frac{2^n}{1 + E}$$

Ushbu formula kod uzunligi n ni tanlash shartini ifodalaydi. Xususiy hollarni ko'raylik. Turli karrali xatoliklar mavjudligida avvalo paydo bo'lish ehtimolliklari eng katta bo'lgan bir karrali xatoliklarning bartaraf etilishini ta'minlash lozim. Bir karrali xatolik vektorlarining bo'lishi mumkin bo'lgan soni: $E = C_n^1 = n$

Bu holda quyidagini yozish mumkin: $2^k = N \leq \frac{2^n}{1+n}$

Kodni qurishda 5.3-jadvaldan foydalanish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

5.3-jadval

	n	2	3	4	5	6	7	8	9
N									
$\frac{2^n}{1+n}$		1.33	2	3.2	5.33	9.1	16	28.4	51.2

Ta'kidlash lozimki, kod quyidagi shartni qanoatlantirishi lozim.

$$d_{min} \geq 3$$

Karraligi 1 dan l gacha bo'lgan barcha xatoliklarning bartaraf etilishi kerak bo'lsa, quyidagilarni hisobga olish zarur:

- bo'lishi mumkin bo'lgan bir karrali xatoliklar soni $E_1 = C_n^1$
- bo'lishi mumkin bo'lgan ikki karrali xatoliklar soni $E_2 = C_n^2$

.....
- bo'lishi mumkin bo'lgan l karrali xatoliklar soni $E_l = C_n^l$

Xatoliklarning umumiy soni:

$$E = \sum_{i=1}^l C_n^i$$

Unda quyidagini yozish mumkin:

$$N = \frac{2^n}{1 + \sum_{i=1}^l C_n^i}$$

Misol:

Ruxsat etilgan kod kombinatsiyalari soni $N = 8$ bo'lganida

6.1. Xemming kodi

Xemming kodi oddiy chiziqli blok kod bo'lib, minimal kod masofasi 3 ga teng, ya'ni bu kod bitta xatolikni tuzata oladi. Xemming kodi boshqa kodlarga o'xshab k informatsion va $(n - k)$ ortiqcha simvollarga ega. Kodning ortiqchalik qismi shunday quriladiki, dekodlash natijasida nafaqat qabul qilingan kombinatsiyadagi xatolik mavjudligini, balki xatolik sodir bo'lgan o'rin nomerini aniqlash mumkin bo'ladi. Bunga qabul qilingan kombinatsiyani ko'p marta juftlikka tekshirish evaziga erishiladi. Tekshirishlar soni ortiqcha simvollar soniga, ya'ni $(n - k)$ ga teng. Har bir tekshirishda informatsion simvollarining bir qismi va ortiqcha simvoldan biri qatnashadi.

Har bir tekshirishdan so'ng ikkilik nazorat simvoli olinadi. Tekshirish natijasi juft sonni bersa nazorat simvoliga 0 qiymati, toq sonni bersa 1 qiymati beriladi. Barcha tekshirishlar natijasida buzilgan simvollar o'rining nomerini ko'rsatuvchi $(n - k)$ xonali ikkilik son olinadi.

Xatolikni tuzatish uchun faqat ushbu simvol qiymatini teskarisiga o'zgartirish kifoya.

Xemming kodining uzunligi:

$$2^k = \frac{2^n}{1 + n}$$

formula yordamida aniqlanadi.

Xemming usuliga binoan tekshiruvchi simvollar qiymati va o'rinlarining nomeri kod kombinatsiyasining tekshiruvchi guruhlarini tanlash bilan bir vaqtda belgilanadi. Bunda quydagilarga asoslanmoq lozim.

Birinchi tekshirish natijasida buzilgan simvol o'rni nomerini ko'rsatuvchi nazorat kodining kichik xonasi raqami olinadi. Agar birinchi tekshirish natijasi 1 ni bersa, demak tekshirilgan guruxning bitta simvoli buzilgan hisoblanadi.

Simvoldan qaysi birining buzilganligini aniqlash uchun 6.1-jadvalga murojaat etamiz.

barcha yakka xatoliklarni tuzatishni ta'minlovchi kod uzunligi n aniqlansin.

Yechish:

Hisoblash quyidagi formula yordamida amalga oshirilishi mumkin.

$$N \leq \frac{2^n}{1 + n}$$

Yuqorida keltirilgan jadvalga binoan

$$N = \frac{2^6}{1 + 6} = \frac{64}{7} \approx 9,1$$

Demak, kod uzunligi $n = 6$.

Nazorat savollari

1. Xalallar nima?
2. Xalallarning tasnifi.
3. Determenistik va tasodifiy xalallar.
4. Additiv va multiplikativ xalallar.
5. Xalallarga bardosh kodlash vasifasi.
6. Qanday kodlar xalallarga bardosh kodlar deb ataladi?
7. Sistematik kod nima?
8. Algebraik kodlar, blok kodlar, rekurrent kodlar.
9. Juftlikka tekshirishli kodlar.
10. Ajraluvchi va ajralmaydigan blok kodlar.
11. Qanday kodlar texnik nuqtai nazaridan sodda hisoblanadi?
12. Xatolik vektori va uning salmog'i, xatolik karraligi, minimal kod masofasi tushunchalariga izoh bering.
13. Masofa matritsasi qanday tuziladi?
14. Kodning tuzatish qobiliyati bilan kod masofasi orasida qanday bog'liqlik mavjud?
15. Xatolikni tuzatish imkoniyati sharti qanday ifodalanadi?

6.1-jadval

№ k/k	Nazorat son simvollarining xonalari			
	4	3	2	1
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0

Jadvalda to'rt xonali nazorat sonlarining natural qatori ikkilik sanoq sistemasida keltirilgan.

6.1-jadvaldan ko'rinib turibdiki, agar nazorat sonining kichik xonasida 1 bo'lsa, buzilish kod kombinatsiyasining toq o'rinlarida bo'ladi. Demak, birinchi tekshirish o'z ichiga toq nomerli simvollarni, ya'ni 1, 3, 5, 7, 9, ... larni oladi.

Agar ikkinchi tekshirish natijasi 1 ni bersa, nazorat sonining ikkinchi xonasida 1 ni olamiz. Demak ikkinchi tekshirish o'z ichiga ikkinchi xonasida

bo'lgan simvollarni, ya'ni 2, 3, 6, 7, 10, ... larni oladi. Xuddi shunday, uchinchi tekshirish o'z ichiga uchinchi xonasida bo'lgan simvollarni, ya'ni 4, 5, 6, 7, 12, ... larni oladi va h.

Bu kabi mushohadalar tekshirish jadvalini shakllantirishga imkon radi (6.2-jadval).

6.2-jadval

Tekshirish nomeri	Tekshiriluvchi o'rinlar nomeri	Nazorat simvollarini o'rinlarining nomeri
1	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, ...	1
2	2, 3, 6, 7, 10, ...	2
3	4, 5, 6, 7, 12, ...	4
4	8, 9, 10, 11, 12, ...	8
...
...

Agar tekshiriluvchi kod kombinatsiyasining simvollarini a_i orqali, tekshiruvchi amallarni S_i orqali belgilasak, quyidagini yozish mumkin.

$$S_1 = a_1 \oplus a_3 \oplus a_5 \oplus a_7 \oplus a_9 \oplus \dots$$

$$S_2 = a_2 \oplus a_3 \oplus a_6 \oplus a_7 \oplus a_{10} \oplus \dots$$

$$S_3 = a_4 \oplus a_5 \oplus a_6 \oplus a_7 \oplus a_{12} \oplus \dots$$

$$S_4 = a_8 \oplus a_9 \oplus a_{10} \oplus a_{11} \oplus a_{12} \oplus \dots$$

Ba'zi manbalarda tekshiruvchi vektor S_1, S_2, \dots, S_{n_k} sindrom deb yuritiladi. Agar sindrom salmog'i nulga teng bo'lsa, olingan kombinatsiya xatosiz hisoblanadi.

Nazorat simvollarini tekshiriluvchi guruxlarning faqat bittasida uchraydigan nomerli o'rinlarda joylashtirish qulay hisoblanadi (6.2-jadvalga qaralsin). Jadvalga muvofiq bu o'rinlar nomeri 1, 2, 4, 8, ... Demak, kod kombinatsiyasida $a_1, a_2, a_4, a_8, \dots$ simvollar tekshiruvchi, $a_3, a_5, a_6, a_7, a_9, \dots$ simvollar informatsion hisoblanishlari lozim.

Informatsion simvollar qiymati oldindan ma'lum bo'lganligi sababli, tekshiruvchi simvollarining qiymati shunday bo'lishi lozimki, har bir tekshiruvchi guruxdagi birlarning yig'indisi juft son bo'lsin.

Misol:

10011 ikkilik kombinatsiyaning Xemming kodini topish so'ralsin.

Yechish:

Informatsion simvollar soni $k = 5$.

$2^k \leq \frac{2^n}{1+n}$ formulaga binoan $32 \leq \frac{2^n}{1+n}$. Demak, Xemming

kodining uzunligi $n = 9$. Informatsion simvol a_3, a_5, a_7, a_9 bo'lganligi sababli, ko'rilayotgan kod uchun quyidagini yozish mumkin.

$$a_3 = 1; a_5 = 0; a_6 = 0; a_7 = 1; a_9 = 1.$$

6.2. Siklik kodlar

Siklik kodlar ma'lum tuzatuvchi kodlar ichida eng sodda va samarador hisoblanadi. Ushbu kodlarning kodlovchi va dekodlovchi qurilmalari sifatida oddiy siljituvchi registrlar ishlatiladi. Siklik kodlarning asosiy xususiyati – har bir kod kombinatsiyasini ushbu kodga taalluqli kombinatsiya simvollarini o'rnini siklik o'zgartirish yo'li bilan olish mumkinligi.

Boshqacha aytganda, agar kod vektori $V = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_{n-1})$ siklik kod V ga tegishli bo'lsa, kod vektoriga taalluqli kombinatsiya simvollarini o'rnini siklik o'zgartirish yo'li bilan olingan vektor $V' = (a_{n-1}, a_0, a_1, a_2, \dots, a_{n-2})$ ham kod V ga tegishli bo'ladi.

Siklik kodlarni qandaydir darajali ko'phad ko'rinishida ifodalash qulay hisoblanadi, ya'ni:

$$G(x) = a_{n-1}x^{n-1} + a_{n-2}x^{n-2} + \dots + a_1 + a_0,$$

bu erda x – o'zgaruvchi; a_i – berilgan sanoq sistemasidagi raqamlar (ikkilik sistemada "0" va "1").

Masalan, yetti xonali ikkilik kod 1010101 x o'zgaruvchining ko'phadi ko'rinishida quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\begin{aligned} 1010101 &= G(x) \\ &= 1 \cdot x^6 + 0 \cdot x^5 + 1 \cdot x^4 + 0 \cdot x^3 + 1 \cdot x^2 + 0 \cdot x^1 + 1 \cdot x^0 \\ &= x^6 + x^4 + x^2 + 1. \end{aligned}$$

Kod kombinatsiyasining bunday ifodalanishi kombinatsiyalar ustida bajariladigan amallarni ko'phadlar ustida bajariladigan amallarga keltirish imkonini beradi. Bunday ikkilik ko'phadni qo'shish o'zgaruvchi x ning darajalari teng bo'lganida koeffitsientlarni 2ning moduli bo'yicha jamlashga keltiriladi. Ko'paytirish darajali funksiyalarni odatdagi ko'paytirish qoidalari bo'yicha amalga oshiriladi, ammo hosil qilingan koeffitsientlar 2ning moduli bo'yicha jamlanadi; bo'lish darajali funksiyalarni odatdagi bo'lish qoidalari bo'yicha amalga oshiriladi, ammo ayirish amallari 2ning moduli bo'yicha jamlash amallari bilan almashtiriladi.

Kombinatsiyalarni yuqorida keltirilgan shakllarda ifodalash yana shunisi bilan qulayki, siklik o'rin almashtirish berilgan ko'pxadni x ga oddiy ko'paytirish natijasi hisoblanadi.

Haqiqatan, agar kod kombinatsiyalarining biri ko'pxad $V(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_{n-1}x^{n-1}$ orqali ifodalansa, yangi

kombinatsiya siklik siljitish hisobiga

$$x \cdot V(x) = a_0x + a_1x^2 + a_2x^3 + \dots + a_{n-2}x^{n-1} + a_{n-1}x^n$$

ko'rinish oladi.

Oxirgi xadda x^n ni 1 bilan almashtirish zarur. Demak, yangi kombinatsiya

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

Yuqorida keltirilganlardan foydalanib siklik kodlarga quyidagicha ta'rif berish mumkin.

Siklik kod- $k-1$ darajali $Q(x)$ ko'phad ko'rinishida ifodalangan oddiy k xonali kodni qandaydir $(n-k)$ darajali yasovchi ko'pxad $P(x)$ ga ko'paytirish yo'li bilan hosil bo'luvchi $(n-k)$ kod.

Oddiy k -xonali kodning barcha kod kombinatsiyalarini yasovchi ko'phad $R(x)$ ga ko'paytirish natijasida ruxsat etilgan kombinatsiyalar soni o'zgaraydi va 2^k ga tenglicha qoladi, taqiqlangan kod kombinatsiyalarining umumiy soni $2^n - 2^k$ ga teng bo'ladi. Taqiqlangan kod kombinatsiyasiga mos birorta ham ko'phad yasovchi ko'phadga qoldiqsiz bo'linmaydi. Ushbu xususiyat xatolikni aniqlashga imkon beradi. Qoldiq ko'rinishi bo'yicha xatolik vektorini ham aniqlash mumkin.

Siklik kodni qurish muolajasi. Siklik kodni qurish muolajasi quyidagicha. Oddiy k -xonali kod $G(x)$ ning kod kombinatsiyasi birhad x^{n-k} ga ko'paytiriladi, so'ngra darajasi $(n-k)$ bo'lgan yasovchi ko'phad $P(x)$ ga bo'linadi. Ko'paytirish natijasida $G(x)$ tarkibidagi har bir hadning darajasi $(n-k)$ ga ortadi. $x^{n-k} \cdot G(x)$ ko'paytmani yasovchi ko'phad $P(x)$ ga bo'lish natijasida darajasi $G(x)$ darajasiga teng bo'linma $Q(x)$ olinadi.

Ko'paytirish va bo'lish natijasini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\frac{x^{n-k} \cdot G(x)}{P(x)} = Q(x) + \frac{R(x)}{P(x)},$$

bu yerda

$R(x)$ – bo'lish natijasidagi qoldiq.

Bo'linma $Q(x)$ ning darajasi oddiy kod kombinatsiyasi $G(x)$ ning darajasiga teng bo'lganligi sababli $Q(x)$ oddiy k -xonali kodning kod kombinatsiyasi hisoblanadi.

Yuqoridagi tenglikning ikki tarafini $P(x)$ ga ko'paytirib ba'zi

o'rin almashtirishlarni bajarish natijasida quyidagini yozish mumkin.

$$F(x) = Q(x)P(x) = x^{n-k}G(x) + R(x)$$

Ushbu ifodaning o'ng tarafidagi $R(x)$ manfiy ishorasi musbat ishora bilan almashtirilgan, chunki 2 ning moduli bo'yicha ayirish jamlashga keltiriladi.

Aytaylik, informatsion simvollar soni $k = 4$ ga bo'lgan (0011), bir karrali xatoliklarni bartaraf etuvchi yoki ikki karrali xatoliklarni aniqlovchi siklik kodni qurish so'ralsin.

$N = 2^k \leq \frac{2^n}{1+n}$ munosabatdan foydalanib berilgan informatsion simvollar soni $k = 4$ bo'yicha kod uzunligini aniqlaymiz. Demak, $n = 7$ va tekshiruvchi simvollar soni $7 - 4 = 3$ ga teng.

Demak, darajasi 3 ga teng bo'lga yasovchi ko'phadni tanlash zarur.

3-ilovadagi jadvalga binoan $P(x) = x^3 + x^2 + 1$ ni yasovchi ko'phad sifatida olish mumkin. Ushbu yasovchi ko'phad ikkilik sanoq sistemasida $P(x) = 1101$. Ikkilik kodni qurish uchun berilgan to'rt simvolli kodni yasovchi ko'phadga ko'paytirish lozim. Ko'paytirish amali quyidagicha yoziladi.

$$\begin{array}{r} 0011 \\ 1101 \\ \hline 0011 \\ 0011 \\ \hline 0011 \\ 0011 \\ \hline 0010111 \end{array}$$

Shunday qilib, oddiy to'rt simvolli kombinatsiya $Q(x) = 0011$ yetti simvolli siklik kod $F(x) = 0010111$ orqali ifodalanadi.

Misollar:

a) $F(x) = x^6 + x^4 + x^3 + x^2$ siklik kod bilan kodlangan kombinatsiya olingan. Agar yasovchi ko'pxad $P(x) = x^3 + x^2 + 1$ bo'lsa, dekodlash orqali olingan kombinatsiyada xatolik mavjudligini tekshirish lozim.

Yechish:

Dekodlash olingan kombinatsiyani yasovchi ko'phadga bo'lish orqali amalga oshiriladi.

$$\begin{array}{r|l} x^6 + x^4 + x^3 + x^2 & x^3 + x^2 + 1 \\ \hline x^6 + x^5 + x^3 & x^3 + x^2 \\ \hline x^4 + x^5 + x^2 & \\ \hline x^4 + x^5 + x^2 & \\ \hline 0 & \end{array}$$

Bo'lish natijasidagi qoldiq $R(x) = 0$. Demak, kombinatsiya buzilmasdan qabul qilingan.

b) $F(x) = x^6 + x^4 + x^2 + 1$ siklik kod bilan kodlangan kombinatsiya olinigan. Agar so'z yasovchi ko'phad $P(x) = x^3 + x^2 + 1$ bo'lsa, dekodlash orqali olingan kombinatsiyada xatolik mavjudligini tekshirish lozim.

Yechish:

Dekodlash olingan kombinatsiyani yasovchi ko'pxadga bo'lish orqali amalga oshiriladi.

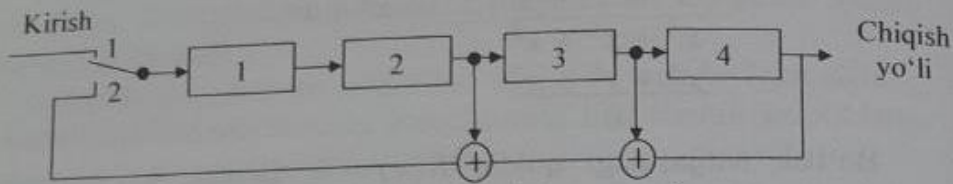
$$\begin{array}{r|l} x^6 + x^4 + x^2 + 1 & x^3 + x^2 + 1 \\ \hline x^6 + x^5 + x^3 & x^3 + x^2 + 1 \\ \hline x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1 & \\ \hline x^4 + x^5 + x^2 & \\ \hline x^3 + 1 & \\ \hline x^3 + x^2 + 1 & \\ \hline x^2 & \end{array}$$

Bo'lish natijasidagi qoldiq $R(x) = x^2 \neq 0$. Demak, kombinatsiya xatolik bilan qabul qilingan.

Kodlovchi va dekodlovchi qurilmalarni qurishning soddaligi siklik kodlarning afzalligi hisoblanadi. Ushbu qurilmalar teskari bog'lanishli siljitivchi registrlardan iborat. Registr xonalarining soni yasovchi ko'phad darajasiga teng qilib olinadi. Teskari bog'lanish registr chiqish yo'lidan qandaydir xonalarga jamlagichlar orqali amalga oshiriladi. Jamlagichlar soni yasovchi ko'phadning nulga teng bo'lmagan hadlari sonidan bittaga kam qilib olinadi. Jamlagichlar,

yasovchi ko'phadning nulga teng bo'lmagan hadlariga mos, registr xonalarining chiqish yo'llariga o'rnatiladi.

6.1-rasmda to'rt xonali kombinatsiyani yetti xonaliga o'zgartiruvchi kodlovchi registr sxemasi keltirilgan.



6.1-rasm. Kodlovchi registr sxemasi

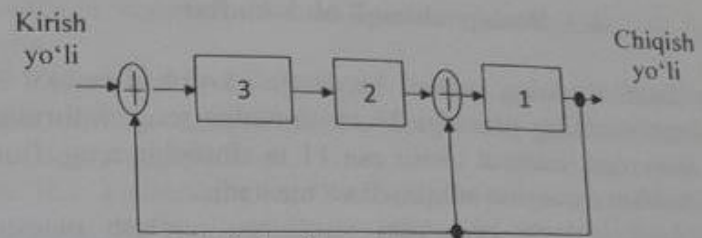
6.3-jadvalda dastlabki kombinatsiya 0101 ni siljitish orqali 1010011 ($n=7, k=4$) kombinatsiyani olish ko'rsatilgan. Kalit 1-holatida kombinatsiya 0101 ko'rinishga ega.

6.3-jadval

Xonalar	Chiqish yo'li
0101	-
0010	1
1001	0
1100	1
0110	0
0011	0
0001	1
0000	1

Dastlabki to'rt taktida registr to'ldiriladi, so'ngra kalit 2-holatga o'tkaziladi, ya'ni teskari bog'lanish amalga oshiriladi. Yettita siljitishlar ta'sirida yetti xonali siklik kod shakllantiriladi. Chiqish yo'li ketma-ketligi 1010011 ko'rinishiga ega, chunki informatsion ketma-ketlikka uchta tekshiruvchi xonalar $S'=3$ qo'shilgan.

6.2-rasmda dekodlash registri sxemalaridan biri keltirilgan.



6.2-Dekodlovchi registr sxemasi

Registr xatolik sodir bo'lgan joyini aniqlashga mo'ljallangan. Xatolik sodir bo'lmaganida dekodlashdan so'ng registrda faqat nullardan iborat kombinatsiya shakllanadi. Agar registr tarkibi nuldin farqlansa xatolik sodir bo'lgan deb hisoblanadi.

1010011 ketma-ketlikni xatosiz olinishida dekodlash registri holatini shakllantirish jarayoni -jadvalda keltirilgan. Ketma-ketlikda xatolik mavjudligida (masalan, 1001001) dekodlash registrida 6.4(a,b)-jadvallarda keltirilgan holat sodir bo'ladi.

Xatosiz 6.4(a)-jadval

Kirish yo'li	Xonalar 321
1	100
0	010
1	101
0	111
0	110
1	111
1	000

Xato mavjud 6.4(b)-jadval

Kirish yo'li	Xonalar 321
1	100
0	010
1	101
1	011
0	010
1	101
1	011

Xatolik o'rnini ko'rsatish uchun, dekodlash registriga siljituvchi taktlar beriladi. Registrning birinchi yacheykasida bir, qolgan yacheykalarda nullar paydo bo'luvchi takt nomeri xatolik sodir bo'lgan xona nomeriga mos keladi.

Ko'rilyotgan misolda 100 kombinatsiyasi olingan ketma-ketlikning to'rtinchi xonasining buzilganligini ko'rsatadi. Buzilgan xonani tuzatish uni invertirlash orqali amalga oshiriladi.

6.3. Boshqa chiziqli blok kodlar

Goley kodi. Kodning asosini 11 darajali ko'phad tashkil etadi. Kod kombinatsiyasining uzunligi 23 ta simvolga teng: informatsion qismi 12ta simvolga, nazorat qismi esa 11 ta simvolga teng. Bunday kod uchta xatolikni osongina aniqlaydi va tuzatadi.

Goley kodi ishlashi prinsipini yaxshiroq anglash maqsadida quyida 11 darajali yasovchi ko'phad yordamida emas, balki 3 darajali yasovchi ko'phad $P(x) = x^3 + x + 1$ yordamida kodlash va dekodlash misoli keltirilgan.

Kodlash. 3 darajali yasovchi $P(x) = x^3 + x + 1$ ko'phadga 1011 ketma-ketlik mos keladi. Aytaylik, informatsion ketma-ketlik 1100 ko'rinishiga ega bo'lsin, ya'ni $G(x) = x^3 + x^2$ ko'rinishiga ega. $G(x)$ ga x^3 ko'paytiriladi, chunki yasovchi ko'phad darajasi 3 ga teng. Natijada $G(x) * x^3 = x^6 + x^5$ olinadi. Ushbu ko'phad koeffitsiyentlarining vektori 1100000 ko'rinishga ega. $G(x) * x^3$ ko'paytma yasovchi ko'phad 1011 ga bo'linadi. Bo'lish mod2 bo'yicha amalga oshiriladi. Bo'lish natijasida 010 qoldiq hosil bo'ladi. 7 ta simvoldan iborat (4tasi informatsion, 3 tasi nazorat simvollari) ruxsat etilgan kod kombinatsiyasi shakllantiriladi.

Dekodlash. Kod ketma-ketligi yasovchi ko'phad $P(x) = x^3 + x + 1$ ga bo'linadi. Agar qoldiq salmog'i "0" ga teng bo'lsa xatolik sodir bo'lmagan deb hisoblanadi. Agar qoldiq salmog'i "1" ga teng bo'lsa xatolik kod ketma-ketligining nazorat simvollarida sodir bo'lgan deb hisoblanadi. Kod ketma-ketligi kichik xonalar tomon siklik siljiriladi va yana yasovchi ko'phad $P(x) = x^3 + x + 1$ ga bo'linadi. Agar navbatdagi bosqichda xatolik topilsa, kod ketma-ketligini teskari tomonga bitning mos soniga siljitish lozim.

Goley kodi ko'pincha ilovalarda ishlatiladi. Sababi, ilovalar uchun o'tkazish qobiliyati emas, balki ishonchlik muhim hisoblanadi.

Bouz-Choudxuri-Xokvengem (BCHX) kodlari Xemming kodining rivoji hisoblandi. BCHX kodlar siklik kodlar bo'lib, ko'p uchraydigan xatoliklarni tuzatishga imkon beradi. Kodlarning bunday turi blok uzunligini, kodlash darajasini, alfavit o'lchamini va xatoliklarni tuzatish imkoniyatlarini tanlashda erkinlikni taqdim etadi.

Kod so'zlar bir necha yuzta simvollardan tashkil topgan holda BCHX kodlari, xuddi shu uzunlikka va kodlash darajasiga ega boshqa

blok kodlarga nisbatan, kattagina yutuqni beradi. BCHX kodlarida ko'pincha uzunligi $n = 2^{m-1}$ ($m = 3, 4, 5, \dots$) bo'lgan kod so'zlari ishlatiladi. BCHX kodlarida kodlashning maksimal samaradorligiga kodlash darajasi $1/3$ va $3/4$ oraliqda erishiladi.

BCHX kodlarining turli-tumanligi va yakka xatoliklar bilan kurashishning yaxshigina imkoniyatlari ularning afzalligi hisoblanadi. Kamchiliklari sifatida dekodlash algoritmlarining yetarlicha murakkabligini (ayniqsa uzunligi katta kodlar uchun) va xatoliklar paketiga qarshilik qila olmasligini ko'rsatish mumkin.

Rid-Solomon kodlari BCHX bo'lmagan kodlarining qisimsinflaridan biri hisoblanadi. Ikkilik bo'lmagan deganda kodlarning simvollari ko'p bitli (m -bitli ketma-ketlik) ekanligi tushuniladi. Rid-Solomon kodlari minimal masofa $d_{min} = n - k + 1$ ga va $t = n - k/2$ xatoliklarni tuzatish imkoniyatiga ega.

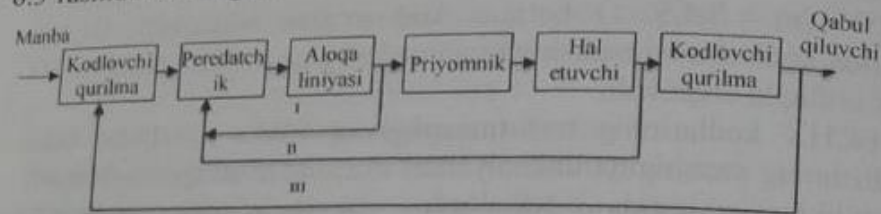
Rid-Solomon kodlarining xatoliklar paketiga qarshilik qila olishi ularning afzalligi hisoblansa, kamchiliklari sifatida dekodlash algoritmlarining murakkabligini ko'rsatish mumkin.

Kaskad kodlashni qo'llab, turli kodlash usullarining afzalliklarini birlashtirish mumkin. Bunda informatsiya dastlab bitta kod yordamida, so'ngra boshqasi bilan kodlanadi. Natijada kod-ko'paytmaga ega bo'linadi. Ba'zi kod- ko'paytmalar iterativ kodlash uchun atayin loyihalangan. Bunda dekodlash bir necha etapda amalga oshirilib, uning har birida oldingisining informatsiyasidan foydalaniladi. Bu yuqori samaradorlikka erishishga imkon yaratadi, ammo ko'p resurs talab etiladi. Kodlarning samaradorligi ularning tuzata oladigan xatoliklar soni, qo'shilishi talab etadigan ortiqcha informatsiya miqdori hamda kodlash va dekodlashning amalga oshirilishining murakkabligi orqali aniqlanadi.

6.4. Teskari bog'lanishli sistemalar

Uzatilishning xalallarga bardoshligini oshirishning samarali usullaridan biri – teskari kanaldan foydalanish. Informatsiya teskari kanal bo'yicha priyomnikdan peredatchikka uzatilishi mumkin. Uzatilishni teskari kanal bo'yicha amalga oshiradigan sistemalar teskari bog'lanishli sistemalar nomini olgan. Teskari kanalni qurishning kup

usullari mavjud. Teskari bog'lanishli sistemalarning asosiy variantlari 6.3-rasmida keltirilgan.



6.3-rasm. Teskari bog'lanishli sistemalarning asosiy variantlari

I variantda teskari bog'lanish faqat aloqa liniyasini qamrab oladi. II va III variantlarda teskari bog'lanish hal etuvchi qurilmadan keyin ulangan. III variant butun sistemani qamrab olishi bilan farqlanadi.

Teskari kanaldan foydalanish usullariga bog'liq holda teskari bog'lanish sistemalarni ikkita asosiy turga ajratish mumkin:

- informatsion teskari bog'lanishli sistemalar (taqqoslashli sistemalar);
- hal etuvchi qurilmali teskari bog'lanishli sistemalar (takror so'rashli sistemalar).

Informatsion teskari bog'lanishli sistemalarda barcha olingan signallar teskari kanal bo'yicha uzatiladi. Ushbu signallar uzatuvchi tomonda uzatilganlari bilan taqqoslanadi. Tafvut borligida signalni takror uzatish yoki kerakli tuzatishlar xususida ma'lumotlar uzatish amalga oshiriladi.

Hal etuvchi qurilmali teskari bog'lanishli sistemalarda olingan signallarning to'g'riligini priyomnikning o'zi tekshiradi. Buzilishlar aniqlanganida priyomnik teskari kanal bo'yicha buzilgan signalni takror uzatish lozimligi signalini yuboradi.

Shunday qilib, informatsion teskari bog'lanishli sistemalarda uzatishni takrorlash xususida qaror uzatuvchi tomonda, hal etuvchi qurilmali teskari bog'lanishli sistemalarda esa qabul qiluvchi tomonda qabul qilinadi.

Teskari kanallar informatsion teskari bog'lanishli va hal etuvchi qurilmali teskari bog'lanishli sistemalarda bir xil darajada ishlatilmaydi. Hal etuvchi qurilmali teskari bog'lanishli sistemalarda teskari kanal, informatsion teskari bog'lanishli sistemalardagiga nisbatan kam yuklangan. Chunki hal etuvchi qurilmali teskari bog'lanishli sistemalarda signal teskari kanal bo'yicha faqat uzatilgan

signaldagi buzulishlar aniqlanganida keladi. Informatsion teskari bog'lanishli sistemalarda esa har bir olingan signal teskari kanal bo'yicha uzatuvchi tomonga jo'natiladi.

Hal etuvchi qurilmali teskari bog'lanishli sistemalarda signal strukturasi shunday bo'lishi kerakki, uzatishdagi xatolik qabul qiluvchi tomonda aniqlanishi mumkin bo'lsin. Bu faqat buzilishlarni aniqlashga imkon beruvchi kodlardan foydalanilganda amalga oshirilishi mumkin. Tadqiqotlar ko'rsatadiki, xatoliklarni aniqlovchi kodlardan foydalanuvchi hal etuvchi qurilmali teskari bog'lanishli sistemalar, tuzatuvchi kodlardan foydalanuvchi teskari bog'lanishsiz sistemalarga nisbatan samaraliroq. Sababi, hal etuvchi qurilmali teskari bog'lanishli sistemalarda uzatishni takrorlash faqat uzatilgan signalda xatoliklar aniqlanganida amalga oshiriladi. Avtomatik tarzda xatoliklarni tuzatuvchi sistemalarda esa qabul qiluvchi tomonda, buzilishlar mavjudligiga bog'liq bo'lmagan holda, xatoliklarni tuzatish uchun talab etiluvchi ortiqchalik doimo kiritiladi.

Nazorat savollari

1. Xemming kodi xalallarga bardosh kodlarning qaysi turiga mansub?
2. Xemming kodini qurish muolajasini so'zlab bering.
3. Xemming kodining minimal kod masofasi nimaga teng?
4. O'nli kodning Xemming kodini qurish muolajasini tushuntiring.
5. Siklik kodga ta'rif bering.
6. Siklik kodni qurish muolajasini so'zlab bering.
7. Siklik kodlarda qanday xususiyat xatolikni aniqlashga imkon beradi?
8. Kodlash va dekodlash registrlari.
9. Teskari bog'lanishli sistemalar.

7.1. Avtomatlar nazariyasi

Avtomat atamasining ikkita jihatini ko'rish mumkin. Bir tomondan, avtomat – inson ishtirokisiz qandaydir funksiyalarni bajaruvchi qurilma. Bu ma'noda kompyuter avtomat hisoblanadi, chunki u dastlabki ma'lumotlar va dasturlar kiritilganidan so'ng berilgan masalani insonning ishtirokisiz yechadi. Ikkinchi tomondan avtomat atamasi matematik tushuncha sifatida real texnik avtomatlarning matematik modelini anglatadi.

Avtomat chekli hisoblanadi, agar uning ichki holatlari to'plami va kirish yo'li signallari to'plami cheklangan to'plamlar bo'lsa.

Amalda ko'pincha raqamli avtomat tushunchasi ishlatiladi. Raqamli avtomat deganda raqamli informatsiyani o'zgartirishga mo'ljallangan qurilma tushuniladi. Raqamli avtomat ishlashini tavsiflash uchun quyidagi to'plamlar berilishi zarur:

- kirish yo'li signallari to'plami

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_n);$$

- avtomat ichki holatlari to'plami

$$S = (s_1, s_2, \dots, s_n);$$

- chiqish yo'li signallari to'plami

$$Z = (z_1, z_2, \dots, z_n);$$

- o'tish funksiyasi

$f: (a_k s_k) \rightarrow (s_m)$. Bu funksiya olingan signal qiymati a_k va avtomatning joriy xolati s_k ga bog'liq holda s_k avtomat xolatini s_m ga almashtiradi;

- chiqish yo'li funksiyasi

$g: (a_k s_k) \rightarrow (z_k)$. Bu funksiya kirish yo'li signali s_k asosida avtomatning joriy xolatini hisobga olgan holda chiqish yo'li signali qiymatini yaratadi.

Avtomat Mur avtomati

$$S(t + 1) = f[S(t), a_1(t), a_2(t), \dots, a_k(t)];$$

$$z_1(t) = g_1[S(t)];$$

$$z_2(t) = g_2[S(t)];$$

•

•

•

$$z_n(t) = g_n[S(t)];$$

yoki Mili avtomati

$$S(t + 1) = f[S(t), a_1(t), a_2(t), \dots, a_k(t)]$$

$$z_1(t) = g_1[S(t), a_1(t), a_2(t), \dots, a_k(t)];$$

$$z_2(t) = g_2[S(t), a_1(t), a_2(t), \dots, a_k(t)];$$

•

•

•

$$z_n(t) = g_n[S(t), a_1(t), a_2(t), \dots, a_k(t)];$$

sifatida berilishi mumkin.

Ushbu tenglamalar sistemasidan ko'rinib turibdiki, Mur avtomatida chiqish yo'li signallari avtomat joriy holatiga bog'liq bo'lsa, Mili avtomatida esa chiqish yo'li signallari nafaqat avtomat joriy holatiga, balki kirish yo'li signallari qiymatiga ham bog'liq.

Misol:

Barcha qiymatlar raqamli bo'lganligi sababli f va g funksiyalar odatda jadval ko'rinishida beriladi.

Avtomat kirish yo'liga $A = 0011101010$ signali berilgan. O'tish funksiyasi f va chiqish yo'li funksiyasi g 7.1-jadval ko'rinishida berilgan bo'lsa, chiqish yo'li signali aniqlansin.

7.1-jadval

	f		g	
	0	1	0	1
s_0	s_1	s_0	0	1
s_1	s_1	s_2	1	1
s_2	s_0	s_1	1	0

Yechish:

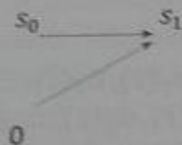
Avtomat ishlashining tadqiqini ikki bosqichda o'tkazish qulay hisoblanadi. Birinchi bosqichda kirish yo'li signali ta'sirida avtomat

holatining o'zgarishini, ya'ni f funksiyani ko'ramiz.
Kirish yo'li signalini qator ko'rinishida yozamiz

$$A = 0011101010$$

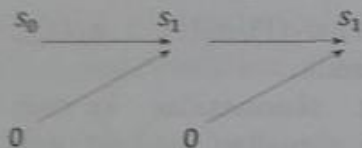
Avtomatning boshlang'ich holatini (s_0) birinchi qiymat ustiga yozamiz. Kirish yo'li signalining birinchi qiymati $a_1 = 0$.

Jadvaldan f uchun s_0 va 0 kesishgan joydan avtomatning yangi holati s_1 ni topamiz va uni ikkinchi qiymat ustiga yozamiz:



Kirish yo'li signalining ikkinchi qiymati $a_2 = 0$.

Jadvaldan f uchun s_1 va 0 kesishgan joydan avtomatning yangi holati s_1 ni topamiz va uni uchinchi qiymat ustiga yozamiz:

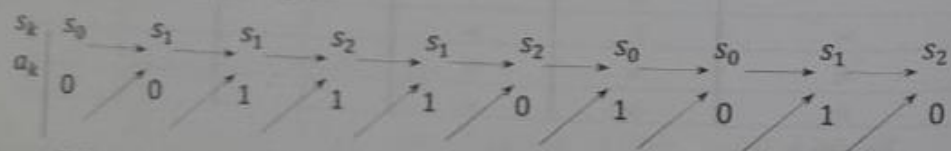


Kirish yo'li signalining uchinchi qiymati $a_3 = 1$. Jadvaldan f uchun s_1 va 1 kesishgan joydan avtomatning yangi holati s_2 ni topamiz va uni uchinchi qiymat ustiga yozamiz:



va h.

Kirish yo'li signali ta'sirida avtomat oladigan holatlarning to'liq ketma - ketligi quyidagicha:



Ikkinchi bosqichda avtomatning barcha holatlarini bilgan holda jadvaldagi g funksiyadan foydalanib chiqish yo'li signalini topamiz.

Kirish yo'li signalining birinchi qiymati $a_1 = 0$ va s_0 holat uchun chiqish yo'li signali qiymati 0 ni topamiz.

$$\begin{matrix} s_0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix}$$

Kirish yo'li signalining ikkinchi qiymati $a_2 = 0$ va s_1 holat uchun chiqish yo'li signali qiymati 1 ni topamiz.

$$\begin{matrix} s_0 & s_1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{matrix}$$

Kirish yo'li signalining uchinchi qiymati $a_3 = 1$ va s_1 holat uchun chiqish yo'li signali qiymati 1 ni topamiz.

$$\begin{matrix} s_0 & s_1 & s_1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{matrix}$$

va h.

Kirish yo'li signali ta'sirida avtomat oladigan holatlarning hamda chiqish yo'li signallarining to'liq ketma - ketligi quyidagicha:

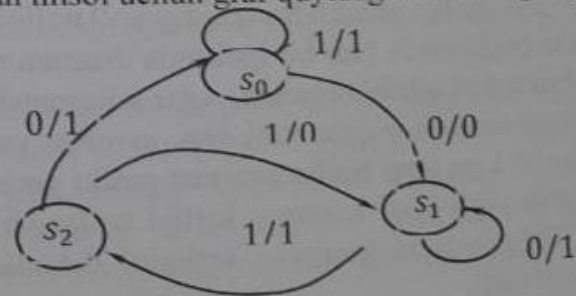
s_k	s_0	s_1	s_1	s_2	s_1	s_2	s_0	s_0	s_1	s_2
a_k	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0
z_k	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1

Shunday qilib, avtomat ishlashining chiqish yo'li ketma - ketligi quyidagi ko'rinishga ega.

$$Z = 0110111011$$

Har bir avtomatga yo'naltirilgan graf moslashtirilishi mumkin. Bunda graf uchi sifatida avtomat holatlari olinsa, graf yoylari salmog'i sifatida a_k/z_k qiymati olinadi.

Ko'rilgan misol uchun graf quyidagi ko'rinishga ega.



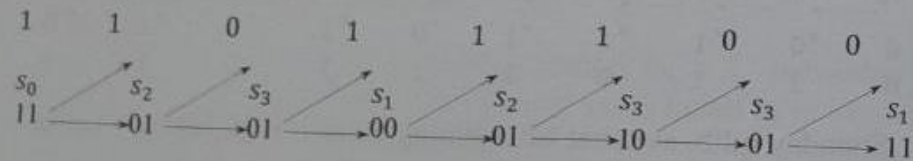
7.2. Rekurrent kodlar

Rekurrent kodlar (Сверточные коды) uzluksiz kodlarga mansub bo'lib, bloklarga ajralmaydi. Bunda kod simvollarini kodlash va dekodlash amallari uzluksiz bajariladi. Bunday kodlar xalallarga bardosh kodlashning keng tarqalgan xili hisoblanadi. Ular simsiz aloqa protokollarida, raqamli yer usti va yer yo'ldoshi aloqa sistemalarida, kosmos bilan aloqa sistemalarida qo'llaniladi. Ushbu kodlarning ishlash prinsipining avtomatlar nazariyasiga asoslanganini 4 holatli va ikkilik ketma-ketlikni ishlovchi avtomat misolida ko'ramiz.

7.2-jadvalga binoan $A = 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 0$ kirish yo'li ketma-ketligiga mos avtomat chiqish yo'li signalini aniqlaymiz.

7.2-jadval

	f		g	
	0	1	0	1
s_0	s_0	s_2	00	11
s_1	s_0	s_3	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:

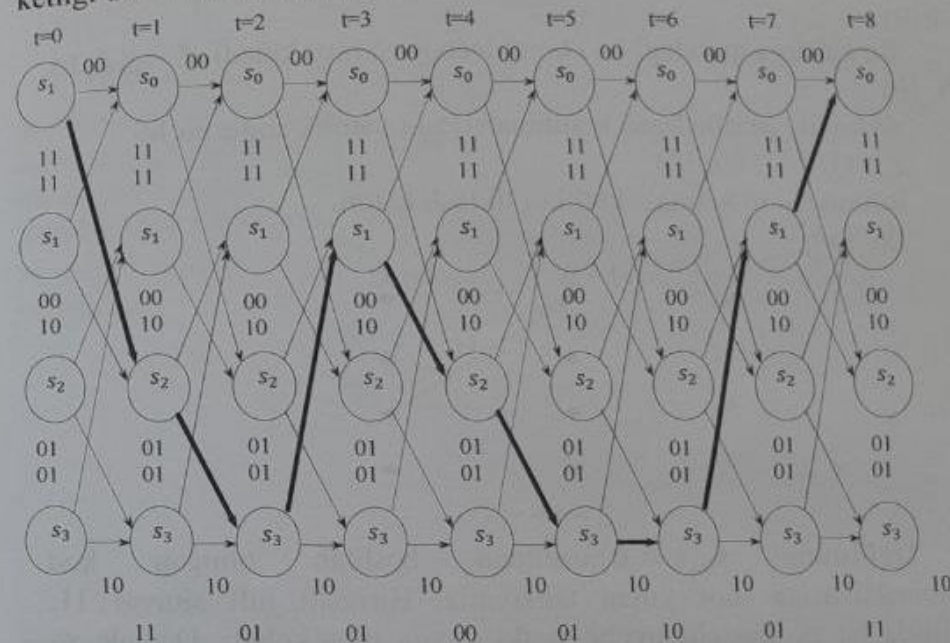
11, 01, 01, 00, 01, 10, 01, 11

Avtomat ishlashini yoyilgan panjara diagramma – (Trellis diagram) 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 informatsion ketma-ketlikning navbattagi 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. Olingan kod ketma-ketligini dekodlash teskari tartibda amalga oshiriladi.

Trellisning har bir uzeli ikkita – yuqori va pastki yoylarga ega. Agar berilgan uzeli uchun ajratilgan yo'l yuqori yoy orqali o'tsa informatsion signal 0 qiymatini oladi. Agar berilgan uzeli uchun ajratilgan yo'l pastki yoy orqali o'tsa informatsion signal 1 qiymatini oladi. Bizning misolimizda dastlabki informatsion ketma-ketlik

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

Yuqoridagi avtomat chiqish yo'lida shakllangan kod ketma-ketligi uchun trellis quyidacha:



Rekurrent kodlar yordamida xatoliklarni tuzatish. 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 xalalli 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'lmazligi ham mumkin. Xatolikni tuzatish masalasi – olingan kod kombinatsiyasi orasidagi shunday yo'lni tanlash kerakki, bu yo'l olingan kod kombinatsiyasidan minimal masofaga ega bo'lsin.

Misol:

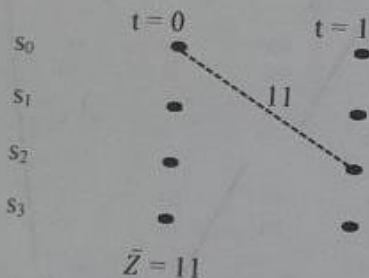
Uzatiladigan informatsion xabar quyidagi ko'rinishga ega $A = (1010)$

Bu xabarga quyidagi kod kombinatsiyasi mos keladi. $Z = (11, 10, 00, 10)$

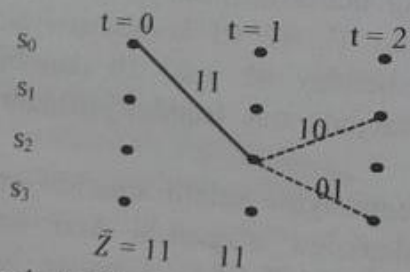
Aytaylik, uzatiladigan kombinatsiyada xatolik sodir bo'ldi. $Z = (11, 11, 00, 10)$

Informatsion ketma – ketlikni tiklash lozim.

Yechish:

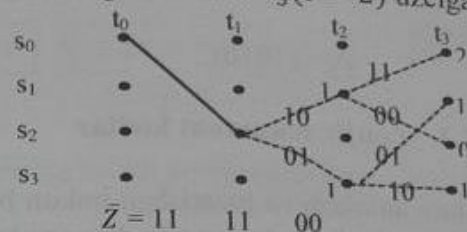


Trellisning $s_0(t=0)$ uzeldan boshlab olingan kod kombinatsiyasiga mos yo'lni tanlaymiz. Birinchi juft simvol 11. Trellisda bu s_0 dan chiquvchi pastki yoyga mos keladi. Demak, s_2 uzalga keldik.

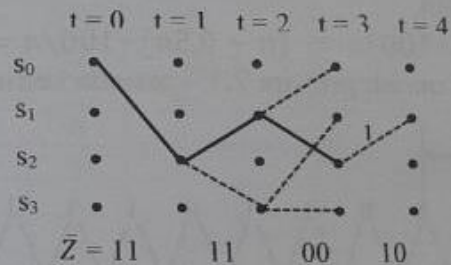


Ikkinchi qadamda trellisning $s_2(t=1)$ uzeldan \bar{Z} ning ikkinchi juftiga mos keluvchi 11 salmoqli yo'lni tanlashimiz lozim. Bunday salmoqli yoy bo'lmaganligi sababli, ikkita variantni ko'ramiz.

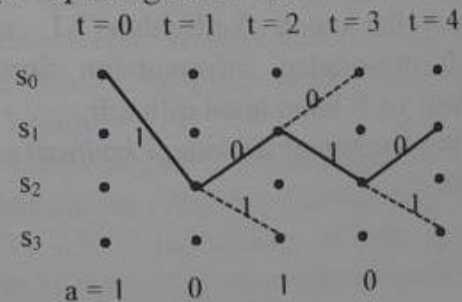
Yuqori yoy uchun 10 salmoq mos keladi. 10 va 11 orasidagi masofani $s_1(t=2)$ uzalga yozamiz. Pastki yoy uchun 01 salmoq mos keladi. 01 va 11 orasidagi masofani $s_3(t=2)$ uzalga yozamiz.



Qabul qilingan kombinatsiyaning uchinchi jufti 00. Uchinchi qadamda ikkita marshrut mavjud. $s_1(t=2)$ uzeldan 11 va 00 salmoqlarga ega bo'lgan ikkita yoy chiqadi. Ular va qabul qilingan qiymatlar orasidagi masofalarni mos uzellarga yozamiz. $s_3(t=2)$ uzeldan ham 01 va 10 salmoqlarga ega bo'lgan ikkita yoy chiqadi. Ular va qabul qilingan qiymatlar orasidagi masofani s_1 va s_0 uzellarga yozamiz.



To'rtinchi qadamda maksimal salmoqqa ega bo'lgan uzellarni tashlab yuborish lozim. Chunki ular uzatiladigan ketma – ketlikdan ko'proq farqlanuvchi ketma – ketlikka mos keladi. Keyingi yo'l uchun faqat s_2 uzelini qoldiramiz. Qabul qilingan kombinatsiyaning to'rtinchi jufti 10. Trellisning $s_2(t=3)$ uzeldan 10 salmoqli yuqori yoy chiqadi va ushbu yoy orqali s_1 uzalga o'tamiz.



Oxirida masofalar yig'indisi minimal bo'lgan uzellardan o'tuvchi yo'lni aniqlash lozim. Har bir qadamda yuqori yoyga 0 qiymati, pastki yoyga 1 qiymati beriladi. Dekodlangan informatsiyaning ketma-ketligi quyidagi ko'rinishga ega.

$$A = (1010).$$

7.3. Zanjir rekurrent kodlar

Xatoliklar guruhini aniqlash va tuzatishga imkon beruvchi zanjir rekurrent kod keng qo'llaniladi. Rekurrent kodlar (m/n) kabi shartli belgilanadi. Har bir informatsion simvoldan so'ng nazorat (tekshiruvchi) simvol keluvchi kod eng sodda rekurrent kod hisoblanadi. Bunday kod ($1/2$) kabi belgilanadi.

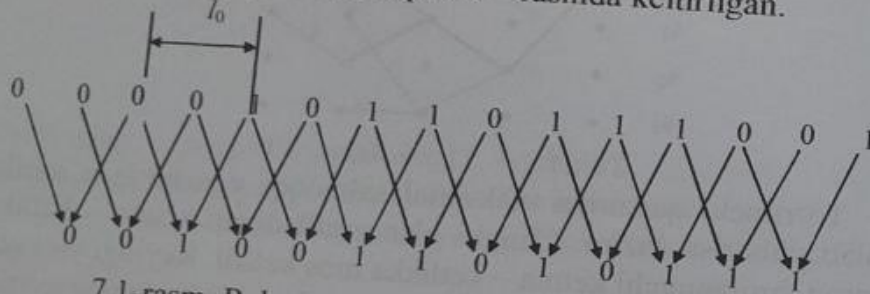
Bunda nazorat simvollarining uzunligi informatsion simvollar uzunligiga teng, ya'ni:

$$m = k = n/2.$$

Demak, ortiqchalik

$$D = (n - m) \cdot 100/n = (n - 0,5n) \cdot 100/n = 50\%.$$

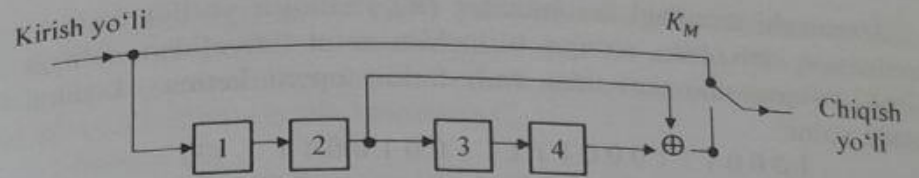
Rekurrent kodni qurish prinsipi 7.1 - rasmda keltirilgan.



7.1-rasm. Rekurrent kodni qurish prinsipiga

Nazorat simvollarining ketma - ketligi (7.1-rasmdagi pastki qator) informatsion simvollar ketma - ketligidan (7.1 - rasmdagi yuqori qator) bir - biridan l_0 masofadagi informatsion simvollarini 2 ning moduli bo'yicha jamlash yo'li bilan hosil qilinadi.

To'rt xonali siljitivchi registr asosidagi kodlash sxemasi (koder) 7.2- rasmda keltirilgan.



7.2-rasm. Koder sxemasi

Agar koderning kirish yo'liga quyidagi simvollar ketma - ketligi 10110111001 (1)

berilsa, siljitivchi registrning chiqish yo'lida quyidagi simvollar ketma - ketligi shakllanadi.

$$00100110101$$
 (2)

(2) ketma - ketlikning hosil qilinishini 7.3-jadval yordamida tushunish mumkin.

7.3-jadval

Diskret vaqt	Registr xonalari holati				Jamlag'ich chiqish yo'lida
	1-chi	2-chi	3-chi	4-chi	
t_1	1	0	0	0	0
t_2	0	1	0	0	0
t_3	1	0	1	0	1
t_4	1	1	0	1	0
t_5	0	1	1	0	0
t_6	1	0	1	1	1
t_7	1	1	0	1	1
t_8	1	1	1	0	0
t_9	0	1	1	1	1
t_{10}	0	0	1	1	0
t_{11}	1	0	0	1	1

Informatsion ketma - ketlik (1) diskret on t_i dagi registrning 1-xonasi holatiga mos kelsa, nazorat (tekshiruvchi) simvollar ketma - ketligi (2) 2ning moduli bo'yicha jamlag'ichning chiqish yo'lidagi simvollarga mos keladi.

(2) ketma - ketlik siljitivchi registrning oldingi taktdagi ikkinchi va to'rtinchi xonalarining chiqish yo'lidagi signallarni jamlash yo'li bilan olinadi. Bu 7.3 - jadvalning oldingi qatoridagi registrning ikkinchi va to'rtinchi xonasidagi simvollarini jamlashga mos keladi.

Uzatuvchi tarafdagi kommutator (K_M) chiqish yo'liga birinchi informatsion simvoldan, so'ngra birinchi nazorat simvolidan, so'ngra ikkinchi informatsion simvoldan va h. tarkib topgan ketma – ketlikni uzatadi, ya'ni:

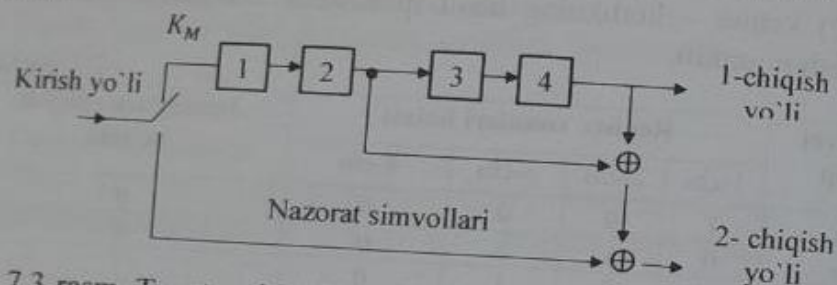
1 0 0 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 0 0 1 1 (3)

(3) ketma – ketlik (1/2) rekurrent kodning kodlangan simvollarining ketma – ketligidir.

Dekoder sxemasi. Dekoder ikki qismli sxemadan iborat:

Birinchi qism sxemada tuzatuvchi ketma – ketlik shakllansa, ikkinchi qism sxemada kod tuzatiladi.

Birinchi qism sxemada (7.3-rasm) kommutator K_M (dekoder kommutatori) koder kommutatori bilan (7.2-rasm) sinxron va sinfaz ishlaydi.



7.3-rasm. Tuzatuvchi ketma-ketlikni shakllantirish sxemasi

Dekoder siljituvchi registri ham to'rt xonali. Dekoder kirish yo'liga simvollarining ketma – ketligi (3) beriladi va bu ketma – ketlik kommutator yordamida siljituvchi registr kirish yo'liga beriluvchi informatsion ketma – ketlik (1)ga va chiqish yo'li jamlagichining pastki kirish yo'liga beriluvchi nazorat simvollarini ketma – ketligi (2)ga ajratiladi.

Dekoderdagi to'rt xonali siljituvchi registr koderdagi siljituvchi registr sxemasidek sxemaga ega. Shu sababli, agar xatolik bo'lmasa, yuqoridagi jamlagichning chiqish yo'lidagi simvollar ketma – ketligi pastki jamlagich kirish yo'liga beriluvchi nazorat simvollarini ketma – ketligiga mos keladi. Bu holda jamlagichning 2 – chiqish yo'lida simvollarining ketma – ketligi faqat nollardan iborat bo'ladi, jamlagichning 1 – chiqish yo'lida esa buzilmagan simvollarining ketma – ketligi (1) shakllanadi.

Agar aloqa kanalida, koder va dekoder orasida xatolik paydo

bo'lsa jamlagichning 2-chiqish yo'lidagi simvollar ketma – ketligi tarkibida xatolikni tuzatishga imkon beruvchi ma'lum kombinatsiyadagi birlar paydo bo'ladi. Demak, ushbu ketma – ketlik tuzatuvchi ketma – ketlik hisoblanadi.

Misol:

$2l_0=4$ uzunlikdagi seriya holdagi xatoliklar paydo bo'lishi misolini ko'raylik. Bunday xatoliklar paketi faqat uzunligi $l_0=2$ bo'lgan informatsion simvollarining yarmini va uzunligi $l_0=2$ bo'lgan nazorat simvollarining yarmini shikastlaydi.

Aytaylik, quyidagi xatoliklar ketma – ketligi sodir bo'ldi:

0 0 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 (4)

(3) va (4) simvollar ketma – ketligini jamlab, dekoderga beriluvchi qabul qilingan ketma – ketlikni hosil qilamiz.

1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 0 1 0 0 1 1 (5)

7.3 – rasmdagi kommutator K_M (5) ketma – ketlikni informatsion simvollariga

1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1 (6)

va nazorat simvollariga

0 0 0 1 0 1 1 0 1 0 1 (7)

ajratadi.

(6) va (7) simvollar ketma – ketligida xatoliklar mavjud (xato simvollarining tagiga chizilgan).

Siljituvchi registrning (7.3-rasm) chiqish yo'lida quyidagi simvollar ketma – ketligi shakllanadi.

0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 1 (8)

(8) ketma – ketlikni (7) ketma – ketlik bilan jamlash natijasida tuzatuvchi ketma – ketlik hosil bo'ladi:

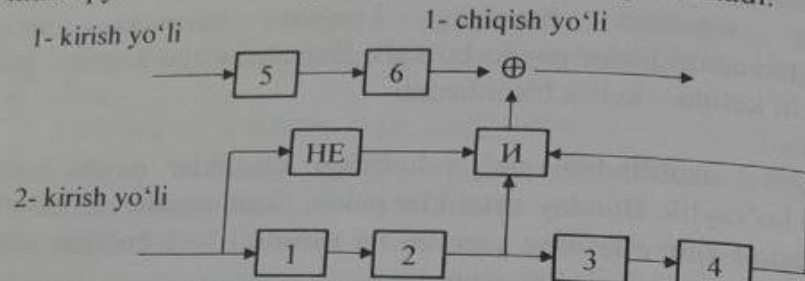
0 0 1 1 0 0 1 0 1 0 0 (9)

7.4 – rasmda xatoliklarni tuzatish sxemasi keltirilgan. Ushbu sxema dekoderning 1 – chiqish yo'lida paydo bo'lgan (6) ketma – ketlikni tuzatuvchi (9) ketma – ketlik yordamida avtomatik tarzda tuzatishni amalga oshirishga mo'ljallangan.

Ushbu sxema 7.3 – rasmda keltirilgan sxemaning davomi hisoblanadi. (1 – chiqish yo'li 1 – kirish yo'li bilan, 2 – chiqish yo'li 2 – kirish yo'li bilan ulanadi). Tuzatuvchi ketma – ketlik (9) bevosita inverslovchi mantiqiy element HE ning kirish yo'liga beriladi.

Ushbu elementning chiqish yo'lida shakllangan ketma – ketlik

(10) mantiqiy element Π ning chapdagi kirish yo'liga beriladi.



7.4-rasm. Xatoliklarni tuzatuvchi dekodeer sxemasi

7.4 – rasmdagi pastki siljitivchi registr sxemasi 7.3 – rasmdagidek. Ushbu siljitivchi registrning 2 – xonasining chiqish yo'lidan tuzatuvchi ketma – ketlik (9) $l_0=2$ qadam bilan siljigan holda mantiqiy element Π ning pastki kirish yo'liga (11) ketma – ketlik beriladi, 4 – xonasining chiqish yo'lidan $2l_0=4$ qadam bilan siljigan holda mantiqiy element Π ning o'ngdagi kirish yo'liga (12) ketma – ketlik beriladi. Natijada mantiqiy element Π ning chiqish yo'lida (13) ketma-ketlik hosil bo'ladi.

$$11001101011 \quad (10)$$

$$\dots 001100101 \quad (11)$$

$$\dots 0011001 \quad (12)$$

$$\dots 0000001 \quad (13)$$

Ketma – ketliklarning chap tarafidagi nuqtalar simvollar siljishini belgilaydi. Π mantiqiy element chiqish yo'lidagi bir faqat uning uchchala kirish yo'liga bir berilganidagina paydo bo'ladi. Ushbu bir xatoliklarni tuzatishga buyruq (komanda) sifatida ishlatiladi. Ushbu komandaning berilishi dekodeerning 1 – kirish yo'liga beriluvchi (xatolik) informatsion simvollar ketma – ketligi bilan vaqt bo'yicha mos bo'lishi lozim. Bu maqsadga $l_0=2$ ni ta'minlovchi 1- kirish yo'lidagi siljitivchi registrning 5 - va 6 - xonalari xizmat qiladi. Tuzatilgan ketma – ketlik sxemaning chiqish yo'lida (14) va (15) simvollar ketma – ketliklarining yig'indisi ko'rinishida shakllanadi. (14) va (15) ketma – ketliklar mos holda $2l_0=4$ va $3l_0=6$ qadamlar bilan siljigan (13) va (6) ketma – ketliklardir. Qadamlar soni ketma – ket ulangan siljitivchi registr xonalari soni orqali aniqlanadi.

$$\dots 0000001000000 \quad (14)$$

$$\oplus \dots 10111111001 \quad (15)$$

$$10110111001 \quad (16)$$

Tuzatilgan ketma – ketlik (16) dastlabki ketma – ketlik (1) bilan mos. Rekurrent kod uchun apparaturaning murakkabligi siljitivchi registr xonalari soni orqali baholanadi.

Nazorat savollari

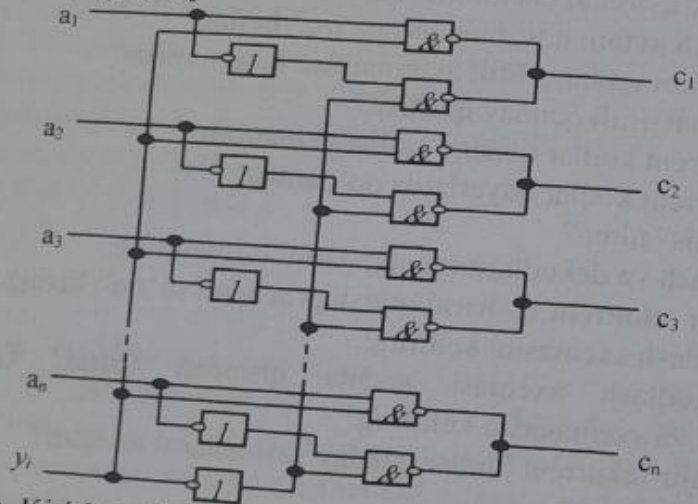
1. Qanday avtomat chekli hisoblanadi?
2. Raqamli avtomat tushunchasiga izoh bering.
3. Mur avtomatining Mili avtomatidan farqi nimada?
4. Avtomat grafi qanday quriladi?
5. Rekurrent kodlar qanday kodlarga mansub?
6. Rekurrent kodlar qayerlarda qo'llaniladi?
7. "Trellis" nima?
8. Kodlash va dekodlash muolajalarini tushuntiring.
9. Zanjir rekurrent kodlarni qurish prinsipini so'zlab bering.
10. Kodlash sxemasini keltiring.
11. Dekodlash sxemasi nechta qismdan iborat? Ularning vazifalarini va sxemalarini keltiring.
12. Zanjir rekurrent kodlar qanday xatoliklarni tuzatadi?

8.1. To'g'ri koddan teskari va qo'shimcha kodlarni hosil qilish

Ma'lumki, teskari kod to'g'ri kod xonalari qiymatini invertirlab hosil qilinadi. 8.1-rasmda kirish yo'lining ikkilik kodi ($a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$) ni boshqarish signali (y_i) ga bog'liq holda, to'g'ri yoki teskari kodda uzatilishini ta'minlovchi sxema keltirilgan.

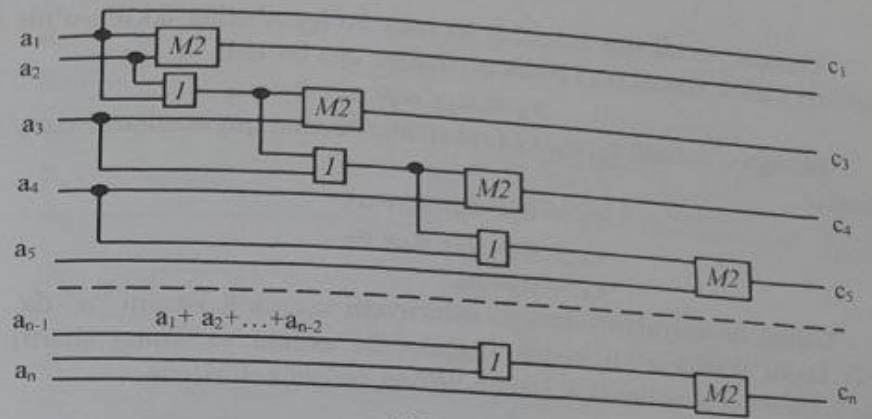
Haqiqatan, ($y_i = 0$) bo'lganida $c_i = a_i$ ya'ni chiqish yo'lga to'g'ri kod uzatiladi. ($y_i = 1$) bo'lganida $c_i = \bar{a}_i$ ya'ni chiqish yo'lga teskari kod uzatiladi. Umumiy ko'rinishda $c_i = a_i \bar{y}_i + \bar{a}_i y_i$

To'g'ri koddan qo'shimcha kodni hosil qilish qoidasini umumiy ko'rinishda quyidagicha yozish mumkin: $c_i = (a_1 + a_2 + \dots + a_{i-1}) \oplus a_i$



8.1-rasm. Kirish yo'lining ikkilik kodini to'g'ri yoki teskari kodda uzatilishini ta'minlovchi sxema

Ushbu ifodadan ko'rinish turibdiki, $s_1 = a_1$, ya'ni sonlarning to'g'ri va qo'shimcha kodlaridagi kichik xonalarining qiymati bir xil. Haqiqatan, qo'shimcha kodni hisoblaganda kichik xonasi (1 yoki 0) invertirlanadi va unga 1 qo'shiladi, ya'ni doimo a_1 xonaning qiymati tiklanadi. To'g'ri kodni qo'shimcha kodga o'zgartiruvchi sxema 8.2-rasmda keltirilgan.



8.2-rasm

8.2. O'nli kodni ikkilik - o'nli kodda va ikkilik - o'nli kodni o'nli kodda ifodalovchi o'zgartgichlar

O'nlik kodni ikkilik-o'nli shaklda (8421 kodida) ifodalovchi o'zgartgich sxemasi 7.3-rasmda keltirilgan. Ushbu o'zgartgichning kirish yo'lida 10 ta signal shinasi bo'lib, faqat bittasida signal 1 qiymatga ega bo'ladi. O'zgartgichning chiqish yo'lida esa ikkilik-o'nlik kodning to'rtta xonasiga mos c_1, c_2, c_3, c_4 shinalari mavjud (c_1 - kichik xona). Ushbu to'rtta chiqish yo'lida ikkilik raqamlarning 16 ta kombinatsiyasi mumkin bo'lsada, faqat 10 tasi ishlatiladi (8.1-jadvalga qaralsin). Jadvaldan ko'rinish turibdiki, c_1, c_2, c_3, c_4 xonalarining ikkilik funksiyasining $a_0, a_1, a_2, \dots, a_9$ o'nli xonalar qiymatlari funksiyalarining mantiqiy qo'shilishi ko'rinishida ifodalash mumkin.

8.1-jadval

8	4	2	1
c_4	c_3	c_2	c_1
0	0	0	0
0	0	0	1
0	0	1	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	0	1
0	1	1	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	0	1

Masalan, o'nli son 1,3,5,7,9 ga teng bo'lgandagina ikkilik-o'nli kodning kichik xonasi (c_1) birlik qiymatiga ega bo'ladi.

$$c_1 = a_1 \vee a_3 \vee a_5 \vee a_7 \vee a_9$$

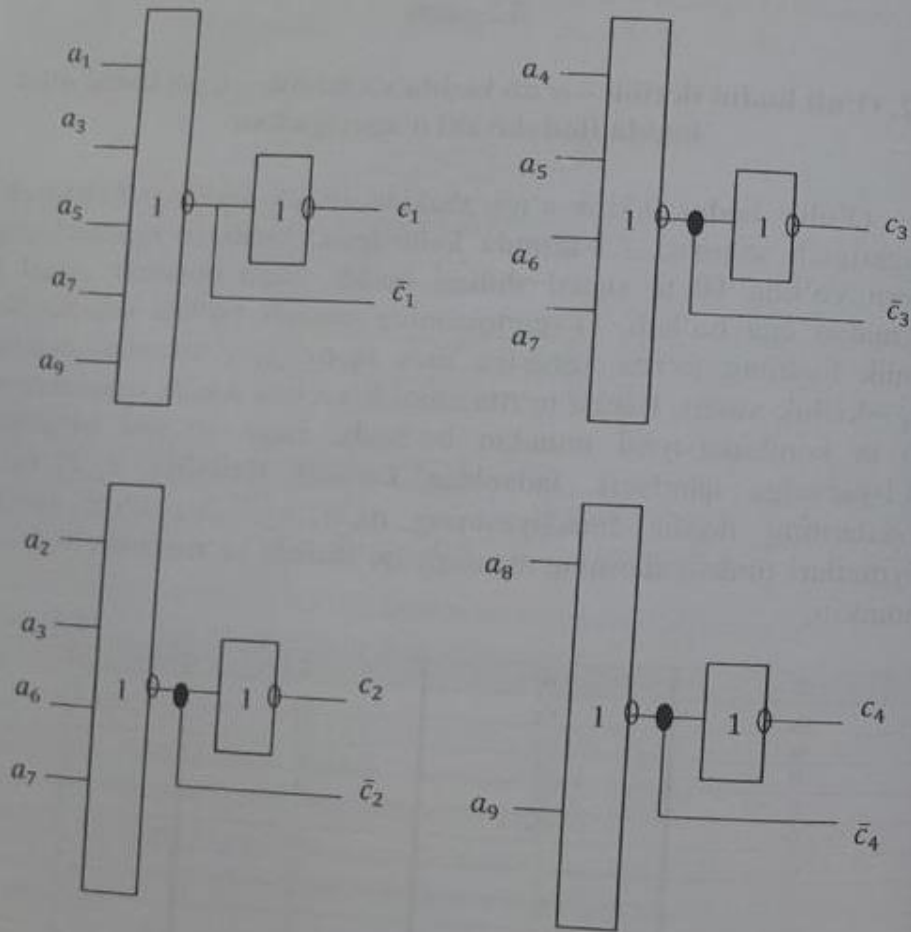
Shunga o'xshash c_2, c_3, c_4 funksiyalari uchun quyidagilarni yoza olamiz:

$$c_2 = a_2 \vee a_3 \vee a_6 \vee a_7$$

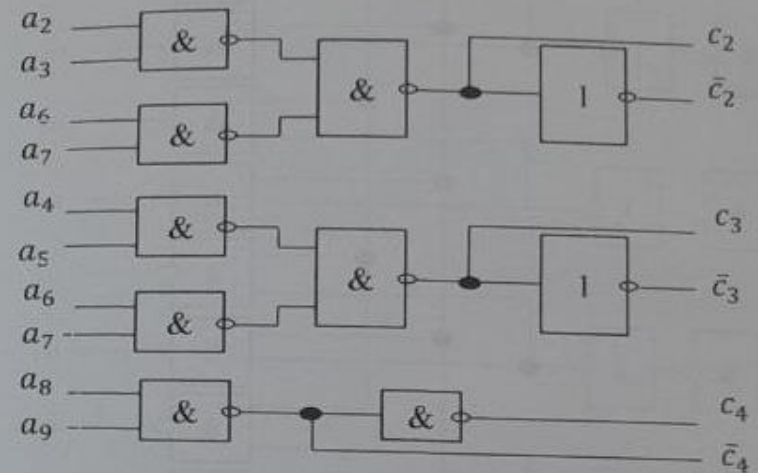
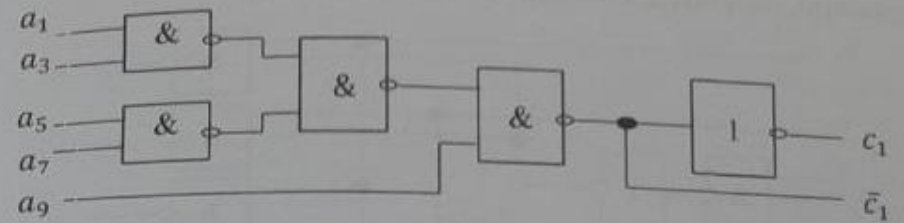
$$c_3 = a_4 \vee a_5 \vee a_6 \vee a_7$$

$$c_4 = a_8 \vee a_9$$

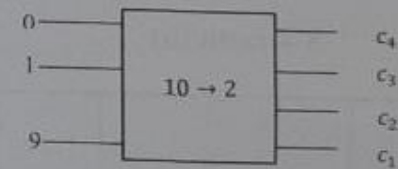
Ushbu funksiyalarni amalga oshiruvchi sxema 8.3-rasm "a" da, o'nli kodni ikkilik-o'nli kodda ifodalovchi sxema va uning shartli belgilanishi esa mos holda 8.3-rasm "b" va "v" da keltirilgan.



8.3-rasm (a)



8.3-rasm (b)



8.3-rasm (v)

Ikkilik-o'nli kodni o'nli kodda ifodalash uchun a_i funksiyasini c_1, c_2, c_3, c_4 o'zgaruvchilar orqali quyidagicha yozish kerak:

$$\begin{aligned} a_0 &= \bar{c}_1, \bar{c}_2, \bar{c}_3, \bar{c}_4 = \bar{c}_1, \bar{c}_2, \bar{c}_3, \bar{c}_4; & a_5 &= c_1, \bar{c}_2, c_3, \bar{c}_4 = c_1, \bar{c}_2, c_3; \\ a_1 &= c_1, \bar{c}_2, \bar{c}_3, \bar{c}_4 = c_1, \bar{c}_2, \bar{c}_3, \bar{c}_4; & a_6 &= \bar{c}_1, c_2, c_3, \bar{c}_4 = \bar{c}_1, c_2, c_3; \\ a_2 &= \bar{c}_1, c_2, \bar{c}_3, \bar{c}_4 = \bar{c}_1, c_2, \bar{c}_3; & a_7 &= c_1, c_2, c_3, \bar{c}_4 = c_1, c_2, c_3; \\ a_3 &= c_1, c_2, \bar{c}_3, \bar{c}_4 = c_1, c_2, \bar{c}_3; & a_8 &= \bar{c}_1, \bar{c}_2, \bar{c}_3, c_4 = \bar{c}_1, c_4; \\ a_4 &= \bar{c}_1, \bar{c}_2, c_3, \bar{c}_4 = \bar{c}_1, \bar{c}_2, c_3; & a_9 &= c_1, \bar{c}_2, \bar{c}_3, c_4 = c_1, c_4; \end{aligned}$$

Ushbu ifodalarni amalga oshiruvchi, ya'ni ikkilik-o'nli kodni o'nli kodda ifodalovchi o'zgartgichning sxemasi va uning shartli

1	1	0	1
1	1	1	0
1	1	1	1

Grey kodi			
c_4	c_3	c_2	c_1
0	0	0	0
0	0	0	1
0	0	1	1
0	0	1	0
0	1	1	0
0	1	1	1
0	1	0	1
0	1	0	0
1	1	0	0
1	1	0	1
1	1	1	1
1	1	1	0
1	0	1	0
1	0	1	1
1	0	0	1
1	0	0	0

Sonning davriy kodidan ikkilik kodiga o'tish esa quyidagi qoida bo'yicha bajariladi:

$$a_n = c_n,$$

$$a_{n-1} = a_n \oplus c_{n-1},$$

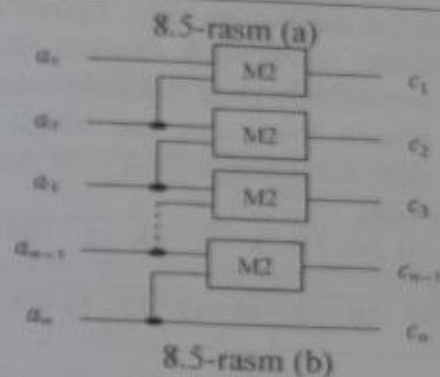
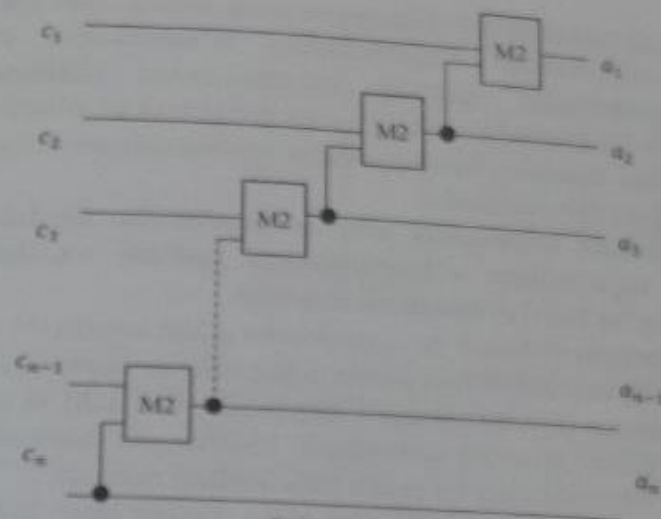
.....

$$a_3 = a_4 \oplus c_3,$$

$$a_2 = a_3 \oplus c_2,$$

$$a_1 = a_2 \oplus c_1.$$

"n" xonali ikkilik sonni davriy kodga va davriy kodni ikkilik kodga o'zgartiruvchi sxemalar mos holda 8.5-rasm "a" va "b" da keltirilgan.



8.4. Kodlash yordamida informatsiyani himoyalash

Ko'pgina hollarda saqlanuvchi va uzatiluvchi informatsiya undan g'arazli maqsadlarda foydalanuvchi shaxslar uchun qiziqish uyg'otishi tabiiy. Informatsiyadan bunday ruxsatsiz foydalanish oqibati jiddiy zararlarga olib kelishi mumkin. Shu sababli, hozirda informatsiyani ruxsatsiz foydalanishdan himoyalash muammosi dolzarb hisoblanadi.

Hududni va binoni qo'riqlash, binodan foydalanishni tartibga soluvchi, foydalanishni identifikatsiyalovchi qurilmalar va hokazolarni o'z ichiga oluvchi himoyalashning texnik vositalar kompleksi mavjud. Ushbu ma'ruzada informatsiyani, uni aloqa kanali bo'yicha uzatilganida ruxsatsiz foydalanishdan himoyalash usullaridan birini

ko'rish bilan chegaralanamiz. Himoyalashning ushbu usuli xabarlarni (ma'lumotlarni) shunday o'zgartirilishini ta'minlaydiki, ularning dastlabki mazmunidan spetsifik informatsiyaga (kalitga) ega foydalanuvchi foydalanishi va kalit yordamida teskari o'zgartirishni amalga oshirishi mumkin. Bunday usullar *informatsiyani kriptografik berkitish usullari* deb yuritiladi.

Informatsiyani kriptografik berkitish usullaridan foydalanuvchi sistemalarda bajariladigan o'zgartirishlarni kodlash va dekodlash jarayonlarining bir turi deb hisoblash mumkin.

Ushbu jarayon *shifrlash va rasshifrovka qilish* nomlarini olgan.

Informatsiyani shifrlash deganda ochiq informatsiyani (dastlabki matn) shifrlangan informatsiyaga o'zgartirish (shifrlash) va aksincha (rasshifrovka qilish) jarayoni tushuniladi. Shifrlangan matn *shifrmavn* deb yuritiladi. Shifrlashning ko'pgina turli usullari mavjud.

Quyida keng tarqalgan shifrlardan biri – *Vijiner shifri* ustida so'z boradi. Bunda shifrlashning ishonchlilik darajasi alfavit xarflarining paydo bo'lish statistik qonuniyatlarining buzilishi evaziga ortadi.

Vijiner shifriga binoan alfavitning har biriga nomer beriladi. Masalan, o'zbek lotin alfaviti harflariga 0 (A = 0) dan to 31 (H = 31) gacha raqam moslashtiriladi.

A	B	D	G	D	E	F	G	G'	H	I	J	K	L	M	N	O	O'	P
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Q	R	S	Sh	Ch	T	U	V	X	Y	Z	ng	'
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

Kalit xabar tagiga qaytarilib yoziladigan qandaydir so'z yoki oddiy harflar ketma – ketligi sifatida ifodalanadi. Shifrmavnning har bir harfiga raqamli ekvivalent xabar harfi raqamli ekvivalentini uning tagidagi kalit harfi raqamli ekvivalentiga 31 ning moduli bo'yicha jamlash orqali aniqlanadi.

Misol:

“TAHDID” kaliti yordamida “AXBOROT” dastlabki matn shifrlash va rasshifrovka qilish talab etilsin.

Yechish.

Shifrlash va rasshifrovka qilish natijasi quyida keltirilgan.

Dastlabki matn	A	X	B	O	R	O	T
Kalit	T	A	H	D	I	D	T
Shifrmavn	T	X	I	P	ng	P	O
Kalit	T	A	H	D	I	D	T
Dastlabki matn	A	X	B	O	R	O	T

Vijiner shifri faqat juda uzun kalitlardan foydalanilganda yetarlicha yuqori kriptobardoshlikka ega bo'ladi.

Bitta harfdan iborat kalitli Vijiner shifri Sezar shifri, chegaralanmaydigan qaytarilmaydigan kalitli Vijiner shifri Vernam shifri sifatida ma'lum.

Nazorat savollari

1. To'g'ri, teskari va qo'shimcha kodlar qanday kodlar?
2. O'nli kodni ikkilik-o'nli va ikkilik-o'nli kodni o'nli kodga qanday o'zgartiriladi?
3. Grey kodi qanday kod? Uning asosiy xususiyati nimada?
4. Ikkilik kod Grey kodiga, Grey kodi ikkilik kodga qanday o'zgartiriladi?
5. Vijiner shifri yordamida matn shifrlash va rasshifrovka qilish muolajasini tushuntiring.
6. Sezar va Vernam shifrlarining Vijiner shifridan farqi nimada?

1. Зубова Е.Д. Основы теории информации. Учебное пособие. Издательство: ЛАНЬ, 2020 — 48 с.
2. Курожкин Е.Ф. Основы теории информации и кодирования. Учебное пособие. Издательство: ЛАНЬ, 2019 — 320 с.
3. Гошин Е.В. Теория информации и кодирования. Учебное пособие. — Самара: Самарский университет, 2018 — 124 с.
4. S.K. Ganiev, SH.R. G'ulomov. Axborot nazariyasi va kodlash: O'qiv qo'llanma/Akxarshi, 2017 y. 100 b.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятности. Учебник. ISBN: 978-5-4060-0476-0 издательство: КноРус, 2016 г. 664 с.
6. А.С. Гуменюк, Н.Н. Поздниченко. Теория информации и кодирования: Учебное пособие / Минобрнауки России, ОмГТУ, — Омск: Изд-во ОмГТУ, ISBN 978-5-8149-2111-6, 2015 г.
7. С.К. Ганиев. "Ахборот назарияси ва кодлаш" фанидан маърузалар матни. ТАТУ илмий услубий кенгаши мажлисида кўрилган ва чоп этишга тавсия этилган. Қайднома №7/68. 13.04.2014 й.
8. Ганиев С.К., Абдуллаев Д.Ф. "Ахборот назарияси ва кодлаш" фани бўйича амалий машғудотларга услубий кўрсатма. ТАТУ. Тошкент 2012.
9. Думачев В.Н. Теория информации и кодирования. Воронеж. Воронежский институт МВД России, 2012.-200 с.
10. Richard E. Algebraic Codes for Data Transmission. Blahut Paperback. ISBN-13:9780521556590 Subject: Communications and Signal processing. Publication date January 2012.
11. Теория информации: учеб. / В.А. Фурсов. - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. - 128 с.: ил.
12. Березкин Е.Ф. Основы теории информации и кодирования: Учебное пособие. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 312 с.
13. Крушной В.В. Основы теории информации и кодирования. Сыктинск-СТФТА-2005.
14. Ганиев С.К., Каримов М.М., Мамбетов Н.М. Ҳисоблаш системаларининг информацион асослари. Олий ўқув юрти талабалари учун дарслик. – Тошкент, ТДТУ, 2002.
15. Савельев А.Я. Основы информатики. Учебник для вузов.

М: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2001.

16. Димитриев В.И. Прикладная теория информации. Учеб. для студ. вузов. М.: высш.шк. 1989.

Internet resurslari

1. <https://intellect.icu/category/teoriya-informacii-i-kodirovaniya>
2. http://window.edu.ru/resource/553/72553/files/teoria_informacii.pdf
3. https://author24.ru/spravochniki/informatika/kodirovanie_informacii
4. <http://ivt.omgtu.ru/wp-content/uploads/2017/10/>

Butun sonlarning ikkilik logarifmlari

1-ilova

A	$\log_2 A$	A	$\log_2 A$	A	$\log_2 A$
1	0,00000	38	5,24793	75	6,22882
2	1,00000	39	5,28540	76	6,24793
3	1,58496	40	5,32193	77	6,26679
4	2,00000	41	5,35755	78	6,28540
5	2,32193	42	5,39232	79	6,30378
6	2,58496	43	5,42626	80	6,32193
7	2,80735	44	5,45943	81	6,33985
8	3,00000	45	5,49185	82	6,35755
9	3,16993	46	5,52356	83	6,37504
10	3,32193	47	5,55459	84	6,39232
11	3,45943	48	5,58496	85	6,40939
12	3,58496	49	5,61471	86	6,42626
13	3,70044	50	5,64386	87	6,44294
14	3,80735	51	5,67242	88	6,45943
15	3,90689	52	5,70044	89	6,47573
16	4,00000	53	5,72792	90	6,49185
17	4,08746	54	5,75489	91	6,50779
18	4,16993	55	5,78136	92	6,52356
19	4,24793	56	5,80735	93	6,53916
20	4,32193	57	5,83289	94	6,55459
21	4,39232	58	5,85798	95	6,56986
22	4,45943	59	5,88264	96	6,58496
23	4,52356	60	5,90689	97	6,59991
24	4,58496	61	5,93074	98	6,61471
25	4,64386	62	5,95420	99	6,62936
26	4,70044	63	5,97728	100	6,64386
27	4,75489	64	6,00000	200	7,644
28	4,80735	65	6,02237	300	8,229
29	4,85798	66	6,04439	400	8,614
30	4,90689	67	6,06609	500	8,966
31	4,95420	68	6,08746	600	9,229
32	5,00000	69	6,10852	700	9,451
33	5,04439	70	6,12928	800	9,644
34	5,08746	71	6,14975	900	9,814
35	5,12928	72	6,16992	1000	9,965
36	5,16993	73	6,18982	10000	13,288
37	5,20945	74	6,20945		

- $p \log_2 p$ kattaliklarning qiymatlari

2-ilova

p	$-p \log_2 p$	p	$-p \log_2 p$	p	$-p \log_2 p$	p	$-p \log_2 p$
0.00	0.0000	0.26	0.5053	0.52	0.4906	0.78	0.2796
0.01	0.0664	0.27	0.5100	0.53	0.4854	0.79	0.2678
0.02	0.1129	0.28	0.5142	0.54	0.4800	0.80	0.2575
0.03	0.1517	0.29	0.5179	0.55	0.4744	0.81	0.2462
0.04	0.1857	0.30	0.5211	0.56	0.4684	0.82	0.2348
0.05	0.2161	0.31	0.5238	0.57	0.4623	0.83	0.2231
0.06	0.2435	0.32	0.5260	0.58	0.4558	0.84	0.2113
0.07	0.2686	0.33	0.5278	0.59	0.4491	0.85	0.1993
0.08	0.2915	0.34	0.5292	0.60	0.4422	0.86	0.1871
0.09	0.3127	0.35	0.5301	0.61	0.4350	0.87	0.1748
0.10	0.3322	0.36	0.5306	0.62	0.4276	0.88	0.1623
0.11	0.3503	0.37	0.5307	0.63	0.4199	0.89	0.1496
0.12	0.3671	0.38	0.5304	0.64	0.4121	0.90	0.1368
0.13	0.3826	0.39	0.5298	0.65	0.4040	0.91	0.1238
0.14	0.3971	0.40	0.5288	0.66	0.3957	0.92	0.1107
0.15	0.4105	0.41	0.5274	0.67	0.3871	0.93	0.0978
0.16	0.4230	0.42	0.5856	0.68	0.3784	0.94	0.0839
0.17	0.4346	0.43	0.5236	0.69	0.3694	0.95	0.0703
0.18	0.4453	0.44	0.5211	0.70	0.3602	0.96	0.0565
0.19	0.4552	0.45	0.5181	0.71	0.3508	0.97	0.0426
0.20	0.4644	0.46	0.5153	0.72	0.3412	0.98	0.0286
0.21	0.4728	0.47	0.5120	0.73	0.3314	0.99	0.0140
0.22	0.4806	0.48	0.5083	0.74	0.3215	1.00	0.0000
0.23	0.4877	0.49	0.5043	0.75	0.3113		
0.24	0.4941	0.50	0.5000	0.76	0.3009		
0.25	0.500	0.51	0.4954	0.77	0.2903		

№	Daraja	Polinom	Ikkilik ketma-ketlik
1	1	$x+1$	11
2	2	x^2+x+1	111
3	3	x^2+x+1	1011
4		x^2+x^2+1	1101
5	4	x^4+x+1	10011
6		x^4+x^2+1	11001
7		$x^4+x^2+x^2+x+1$	11111
8	5	x^5+x^2+1	100101
9		x^5+x^3+1	101001
10		$x^5+x^3+x^2+x+1$	101111
11		$x^5+x^4+x^2+x+1$	110111
12		$x^5+x^4+x^2+x+1$	111011
13		$x^5+x^4+x^3+x^2+1$	111101
14	6	x^6+x+1	1000011
15		x^6+x^3+1	1001001
16		$x^6+x^4+x^2+x+1$	1010111
17		$x^6+x^4+x^3+x+1$	1011011
18		x^6+x^5+1	1100001
19		$x^6+x^5+x^2+x+1$	1100111
20		$x^6+x^5+x^3+x^2+1$	1101101
21		$x^6+x^5+x^4+x+1$	1110011
22		$x^6+x^5+x^4+x^2+1$	1110101
23	7	x^7+x+1	10000011
24		x^7+x^3+1	10001001
25		$x^7+x^3+x^2+x+1$	10001111
26		x^7+x^4+1	10010001
27		$x^7+x^4+x^3+x^2+1$	10011101
28		$x^7+x^5+x^2+x+1$	10100111
29		$x^7+x^5+x^3+x+1$	10101011
30		$x^7+x^5+x^4+x^3+1$	10111001
31		$x^7+x^5+x^4+x^3+x^2+x+1$	10111111
32		x^7+x^6+1	11000001
33		$x^7+x^6+x^3+x+1$	11001011
34		$x^7+x^6+x^4+x+1$	11010011
35		$x^7+x^6+x^4+x^2+1$	11010101
36		$x^7+x^6+x^5+x^2+1$	11100101
37		$x^7+x^6+x^5+x^3+x^2+x+1$	11101111

Atama	Sharhi
Абстрактное представление данных Ma'lumotlarni abstrakt ifodalash Abstract representation of data	Принцип определения типа данных через операции, которые могут выполняться над объектами данного типа. При этом вводятся следующие ограничения: значения объектов могут модифицироваться и наблюдаться только путем использования этих операций. Ob'ektlarning berilgan turi ustida bajarilishi mumkin bo'lgan amallar orqali ma'lumotlar xilini aniqlash prinsipi. Bunda quyidagi cheklashlar kiritiladi: ob'ektlar mavqei faqat ushbu amallar yordamida modifikatsiyalanishi va kuzatilishi mumkin. The principle of determining the type of data through the operations that may be performed on given objects type. In this case the following restrictions can be considered: the values of objects can be modified and observed only by using these operations.
Бит (двоичный код) Bit (ikkili kod) Bit (binary)	Минимальная единица количества информации в компьютере, равная одному двоичному разряду. Kompyuterdagi bitta ikkili xonaga teng axborot miqdorining minimal birligi. The minimum unit amount of information into a computer, which is equal to one binary digit.
Бит достоверности Haqiqiylik biti Validity bit	Разряд, добавляемый к слову в памяти компьютера для указания достоверности информации. Axborot haqiqiyligini ko'rsatish maqsadida kompyuter хотирасидagi so'zga qo'shiladigan bit. Bit that is added to a word in the computer memory for indicating the

	reliability of the information.
Бит защиты Himoya biti Protection bit	<p>Двоичный разряд в ключе памяти, устанавливающий защиту соответствующего блока памяти от записи либо от выборки и записи</p> <p>Xotiraning mos blokiga yozish yoki undan tanlash va unga yozishdan himoyalash uchun o'rnatiladigan xotira kalitidagi ikkili xona.</p> <p>Bit in the key memory, setting protection according memory block from record or chose and record.</p>
Бит контроля на четность Juftlikka tekshirish biti Parity bit	<p>Контрольный бит, добавляемый к данным для контроля их верности таким образом, чтобы сумма двоичных единиц, составляющих данное, включая и единицу контрольного бита, всегда была четной (либо всегда нечетной).</p> <p>Ma'lumotlardagi ikkili birliklar yig'indisi doimo juft (yoki doimo toq) bo'lishligini ta'minlash maqsadida ularga qo'shiladigan nazorat biti.</p> <p>To provide the binary digits sum of the information which is always an even (or always odd) the additional control bits</p>
Бит маски Niqob biti Mask bit	<p>Сочетание битов, устанавливаемых в нулевое или единичное значение для разрешения или запрета определенных операций либо для проверки или изменения содержимого поля.</p> <p>Ma'lum amallar bajarilishiga ruxsat berish yoki rad etish yoki hoshiya tarkibini tekshirish yoki o'zgartirish uchun nul yoki bir qiymatiga o'rnatiluvchi bitlar birikmasi.</p> <p>A combination of bits set to zero or single value to enable or disable certain operations or to inspect or modify the contents of the field.</p>

Бит управления доступом Foydalanishni boshqarish biti Access control bit	<p>Один из нескольких битов ключа памяти, сопоставляемых с ключом защиты при обращении к соответствующему блоку памяти с целью организации ее защиты.</p> <p>Xotirani himoyalashni tashkil etish maqsadida xotiraning mos blokiga murojaat vaqtida himoya kaliti bilan taqqoslanuvchi xotira kalitining bitta yoki bir necha biti</p> <p>One of several key bits of memory mapped to the key protection when accessing the corresponding memory which are blocked in order to organize its defense.</p>
Блок данных Ma'lumotlar bloki Data block	<p>Последовательность битов, имеющая фиксированную длину и используемая для представления данных в памяти или для их пересылки.</p> <p>O'zgarimas uzunlikka ega va xotirada ma'lumotlarni ifodalanishda yoki ularni jo'natishda ishlatiluvchi bitlar ketma-ketligi.</p> <p>Bit sequence having a unchangeable length and its use to represent data in memory or for shipment.</p>
Блок доступа к записи Yozishda foydalanuvchi blok Record access block	<p>В «серия малых» компьютере структура данных в системе управления данными (СУД), содержащая запрос на доступ к записи файла СУД.</p> <p>"Kichik seriyali" kompyuterdagi tarkibida faylni yozish so'rovi bo'lgan ma'lumotlarni boshqarish tizimidagi ma'lumotlar strukturasi.</p> <p>The "small series" computer data structure data management system (DMS), containing a request for writing access to the DMS's file.</p>
Блок текста Matn bloki	<p>Мультиграмма текста (текста открытого, текста шифрованного или</p>

Text Block	промежуточного), составленная из подряд идущих знаков. Обычно текст разбивается на блоки одинаковой длины.
	Ketma-ket keluvchi belgilardan tuzilgan matn mul'tigrammasi (ochiq matn, shifrlangan matn, oraliq matn). Odatda matn uzunligi bir xil bloklarga ajratiladi.
	Multigramma text (text open, encrypted text or intermediate), composed of contiguous characters. Usually the text is divided into blocks of equal length.
Блокировка записи в память Xotiraga yozishni blokirovka qilish Memory write lock	Ситуация при обмене данными, характеризующаяся тем, что запись, читаемая с внешнего носителя, в основную память не переводится. Ma'lumotlar almashinuvidagi vaziyat bo'lib, tashqi eltuvchidan o'qiladigan yozuv asosiy xotiraga o'tkazilmaydi.
	Situation at information transfer, characterized in that the record read from the external media to the main memory is not translated.
Взвешенный код Salmoqlangan kod Weighted code	Блочный код, в котором каждой позиции символа в закодированном слове присваивается определенный вес. Blokli kod bo'lib, unda kodlangan so'zdagi har bir o'ringa ma'lum salmoq beriladi.
	Block code in which each character position in the encoded word is assigned a specific weight.
Граница кодирования Kodlash chegarasi Coding bound	Предел производительности кода, зависимый от таких параметров, как мощность кода, минимальное расстояние Хемминга, длина кодовой комбинации. Kod salmog'i, minimal Xemming masofasi, kod kombinatsiyasining uzunligi kabi parametrlarga bog'liq kod unumdorligining chegarasi.

	Limit of code performance, depending on such parameters as the output code, the minimum Hamming distance, the length of the codeword.
Данные Ma'lumotlar Data	Информация, представленная в формализованном виде, пригодном для передачи, интерпретации или обработки с участием человека либо автоматическими средствами. Odam ishtiroki bilan yoki avtomatik tarzda uzatishga, izohlashga yoki ishlashga yaroqli, formallashgan ko'rinishda ifodalangan axborot.
	Information presented in a formalized manner suitable for communication, interpretation or processing involving human or automated means.
Двоичный код с исправлением ошибок Xatoliklarni tuzatuvchi ikkilik kod Binary error correction code	Двоичный код, избыточность которого обеспечивает автоматическое обнаружение и исправление ошибок некоторых типов в передаваемых данных. Ortiqchaligi uzatiluvchi ma'lumotlardagi ba'zi xil xatoliklarni avtomatik tarzda aniqlashni va to'g'rilashni ta'minlovchi ikkili kod.
	Binary code whose redundancy provides automatic detection and correction of errors in certain types of data transmitted.
Декодирование Dekodlash Decoding	Преобразование данных в исходную форму, которую они имели до кодирования; операция, обратная кодированию. Ma'lumotlarni, ular kodlanishidan avvalgi dastlabki shakliga o'zgartirish; kodlash amaliga teskari amal.
	Converting the data into its original shape that they had prior to encoding; inverse operation of coding.
	Описатель, элемент информационной структуры объекта, указывающий, в

Дескриптор Deskriptor Descriptor	каком виде запоминается та или иная информация (например, в массиве записи или файле). Обратившись к дескриптору, программа получает возможность интерпретировать характеризуемые им данные. U yoki bu axborot qanday ko'rinishda (masalan, yozuv massivida yoki faylda) xotirlanishini ko'rsatuvchi ob'ekt axborot strukturasing elementi, tavsiflovchi. Dastur deskriptorga murojaat etib u harakterlovchi ma'lumotlarni sharxlash imkoniyatiga ega bo'ladi.
Дешифратор (декодер) Deshifrator (dekoder) Decoder	Descriptor information element structure of the object, indicating the form in which is stored this or any other information (eg, in an array of records or file). Turning to the handle, the program is able to interpret the data they are characterized. Логическая схема, преобразующая n разрядное входное двоичное слово (код, шифр) в единичный сигнал на одном из $2k$ выходов этой схемы. Обратную функцию выполняет шифратор. Kirish yo'llariga beriladigan n xonali ikkili so'zni (kod, shifr) $2k$ chiqish yo'llarining bittasida birlik signaliga o'zgartiruvchi sxema. Teskari funksiyani shifrator bajaradi. Logic circuit that converts an input binary word n bit (code, cipher) in a single signal on one of $2k$ outputs of the circuit. Encoder performs the inverse function.
Дешифратор адреса Adres deshifratori Address decoder	Преобразователь адреса в управляющие сигналы, направляемые запоминающему устройству. Adresni xotirlovchi qurilmaga yuboriluvchi boshqarish signaliga

Дополнительный бит Qo'shimcha bit Additional bit	o'zgartirgich. Address converter control signals directed to the memory device. Бит, добавляемый к слову данных с определенной целью (например, контроль на четность). Ma'lumotlar so'ziga ma'lum maqsad bilan qo'shiladigan bit (masalan, juftlikka tekshirish). Bit added to a data word with a specific purpose (e.g for framing or even parity).
Защита от ошибок Xatolardan himoyalash Error protection	Применение кодов с обнаружением и исправлением ошибок. Действия по проверке правильности выполнения предыдущих операций. Контроль допустимости значений аргументов при входе в процедуру. Xatolarni aniqlovchi va tuzatuvchi kodlardan foydalanish. Oldingi amallarni bajarilishining to'g'riligini tekshirish bo'yicha harakatlar. Muolajaga kirishda argumentlar qiymatlarining joizligini nazoratlash. Application of codes with detection and correction of mistakes. Actions on check of correctness of performance of the previous operations. Control of an admissibility of values of arguments at an entrance to procedure.
Избыточная система Ortiqchalik tizim Redundant system	Система, обладающая избыточностью некоторого типа аппаратной, алгоритмической, информационной, обеспечивающей повышение надежности ее функционирования. Ishlash ishonchliligini oshirilishini ta'minlovchi qandaydir xil apparat, algoritm, axborot ortiqchaligiga ega tizim. The system possessing redundancy of some type of an equipment room, algorithmic, information reliability of its

	functioning providing increase.
Избыточность Ortiqchali Redundancy	Введение в систему дополнительных компонентов сверх минимально необходимого их числа с целью повышения надежности системы. Различают избыточность аппаратную, информационную, алгоритмическую.
	Tizim ishonchliligini oshirish maqsadida unga keragidan ortiq qo'shimcha komponentlarning kiritilishi. Apparat, algoritm, axborot ortiqchaliklar farqlanadi.
	Introduction in system of additional components over minimum their necessary number for the purpose of increase of reliability of system. Distinguish redundancy hardware, information, algorithmic.
Избыточность кода (кодвая избыточность) Kod ortiqchaligi Code redundancy	Разность между средним числом битов, используемых для кодирования одного сообщения источника и минимально возможным числом битов, полученным из теоремы Шеннона.
	Manbaning bitta xabarini kodlash uchun ishlatiladigan bitlarning o'rtacha soni bilan SHennon teoremasidan olingan bitlarning minimal soni orasidagi tafovut.
	Difference between average of the bits used for coding of one message of a source and minimum possible number of bits, received from Shannon's theorem.
Информационная система Informatsion sistema Information system	Организационно упорядоченная совокупность документов (массивов документов) и информационных технологий, в том числе с использованием средств вычислительной техники и связи, реализующих информационные

	процессы.
	Xujjatlarning (xujjatlar massivining) va axborot texnologiyalarining, xususan axborot jarayonlarini amalga oshiruvchi, xisoblash texnikasi va aloqa vositalaridan foydalanib, tashkiliy tartibga solingan majmui.
	Organizationally ordered set of documents (document files) and information technologies, including with use of computer aids and the communications, realizing information processes.
Информационная технология Informatsion texnologiya Information technology	Система технических средств и способов обработки информации.
	Axborotni ishlash usullari va texnik vositalari tizimi.
	System of technical means and ways of information processing.
Информационные процессы Informatsion jarayon Information processes	Процессы сбора, обработки, накопления, хранения, поиска и распространения информации.
	Axborotni qidirish, to'plash, saqlash, uzatish, ishlash va undan foydalanish jarayonlari.
	Processes of collecting, processing, accumulation, storage, search and information distribution.
Информация Informatsiya Information	Сведения, которые уменьшают степень неопределенности нашего знания о конкретном объекте.
	Muayyan ob'ekt xususidagi bilimlarimizning noaniqlik darajasini pasaytirishga imkon beruvchi har qanday ma'lumot.
	Data that reduces the uncertainty degree of knowledge about certain object.
	Использование кодов с обнаружением ошибок или кодов с исправлением ошибок для обеспечения надежной передачи по

<p>Канальное кодирование Kanal kodlash Channel coding</p>	<p>каналу связи. При канальном кодировании код выбирается в соответствии с каналом (главным образом, с его шумовыми характеристиками), а не с источником информации.</p> <p>Aloqa kanali bo'yicha ishonchli uzatishni ta'minlash uchun xatoliklarni aniqlash kodlaridan yoki xatoliklarni tuzatuvchi kodlardan foydalanish. Kanal kodlashda kod, axborot manbaiga emas, balki kanalga (asosan uning shovqunlash xarakteristikalariga) mos holda tanlanadi.</p> <p>Use of codes with detection of mistakes or codes with correction of mistakes for ensuring reliable transfer on a communication channel. At channel coding the code gets out according to the channel (mainly, with its noise characteristics), instead of with information source.</p>
<p>Каскадный код Kaskad kod Cascading code</p>	<p>Код с исправлением ошибок, который можно рассматривать как результат последовательного применения нескольких других кодов.</p> <p>Bir necha boshqa kodlarning ketma-ket ishlatilishi natijasi sifatida ko'rish mumkin bo'lgan xatolikni tuzatuvchi kod.</p> <p>Code with correction of mistakes which can be considered as result of consecutive application of several other codes.</p>
<p>Код с контролем на четность Juftlikga nazoratlovchi kod Parity chek code</p>	<p>Двоичный код, в котором к каждой кодовой комбинации присоединяется дополнительный контрольный разряд, что позволяет сохранить принятую в системе одну и ту же четность двоичных блоков.</p> <p>Tizimda qabul qilingan 0 ikkili</p>

	<p>bloklarning juftligini saqlashga imkon beruvchi, har bir kod kombinatsiyasiga nazorat xonasi sifatida qo'shiladigan qo'shimcha ikkili kod.</p> <p>Binary code in which the additional control category joins each code combination that allows to keep the same parity of binary blocks accepted in system.</p>
<p>Код с минимальной избыточностью Minimal ortiqchalik kod Minimum redundancy code</p>	<p>Как правило, под этим подразумевается код, построенный по процедуре Хаффмена.</p> <p>Odatda, bunday kod Xaffmen muolajasi bo'yicha quriladi.</p> <p>As a rule, it is meant as the code constructed on procedure of Huffman.</p>
<p>Код с минимальным расстоянием Minimal oraliqli kod Minimum distance code</p>	<p>Избыточный код, в котором переход от одного допустимого значения к следующему сопровождается минимальным изменением в кодовой комбинации. Позволяет обнаруживать в передаваемых данных только одиночные ошибки.</p> <p>Bir joiz qiymatdan keyingisiga o'tishda kod kombinatsiyasida minimal o'zgarish yuz beradigan ortiqchalik kod. Uzatiluvchi ma'lumotlarda faqat yakka xatoliklarni aniqlashga imkon beradi.</p> <p>Excess code in which transition from one admissible value to the following is accompanied by the minimum change in a code combination. Allows to find in transmitted data only single mistakes.</p>
<p>Код с переменной скоростью Tezligi o'zgaruvchi kod Variable rate code</p>	<p>Как правило, используется при описании сверточных кодов, у которых длина кодовых подблоков изменяется во времени, а длина информационных подблоков остается постоянной.</p> <p>Odatda o'raluvchi kodlarni tavsiflashda ishlatiladi. Bunday kodlarda kod</p>

	<p>qismlarining uzunligi vaqt bo'yicha o'zgaradi, axborot qismlarining uzunligi esa o'zgarmaydi.</p> <p>As a rule, it is used at the description the svetochnykh of codes at which length of code subblocks changes in time, and length of information subblocks remains to a constant.</p>
<p>Код Хаффмена Xaffmen kodi Huffman code</p>	<p>Префиксный код, в котором длина кодовой комбинации обратно пропорциональна частоте появления кодируемого элемента (чем чаще встречается элемент, тем короче кодовая комбинация).</p> <p>Kod kombinatsiyasining uzunligi kodlanuvchi elementning paydo bo'lishi chastotasiga teskari proporsional (element qanchalik tez-tez uchrasa, kod kombinatsiyasi shunchalik qisqa bo'ladi) bo'lgan prefiks kod.</p> <p>Prefix code in which length of a code combination is inversely proportional to the frequency of emergence of a coded element (the more often the element meets, the code combination is shorter).</p>
<p>Код Хемминга Xemming kodi Hamming code</p>	<p>Код с минимальной избыточностью, обеспечивающий исправление одиночных ошибок.</p> <p>Yakka xatoliklarni tuzatishni ta'minlovchi minimal ortiqchalikka ega kod.</p> <p>Code with the minimum redundancy, providing correction of single mistakes.</p>
<p>Кодирование Kodlash Coding</p>	<p>Отождествление данных с их кодовыми комбинациями; установление соответствия между элементом данных и совокупностью символов, называемой кодовой комбинацией, словом кода.</p> <p>Ma'lumotlarning ularning kod kombinatsiyalari bilan tenglashtirish;</p>

	<p>ma'lumot elementlari va kod kombinatsiyasi, kod so'zi deb ataluvchi simvollar majmuasi orasida moslikni o'rnatish.</p> <p>Identification of data with their code combinations; compliance establishment between an element of data and the set of symbols called by a code combination, the code word.</p>
<p>Кодирование источника Manbani kodlash Source coding</p>	<p>Использование в рамках заданного алфавита кодов переменной длины с целью уменьшения числа символов в сообщении до минимума, необходимого для представления всей информации сообщения или по крайней мере для обеспечения условий такого сокращения.</p> <p>Xabarning barcha axborotini ifodalash uchun zarur bo'lgan xabardagi simvollar sonini minimalgacha kamaytirish yoki, bo'lmaganida bunday qisqartirish shartini ta'minlash maqsadida, berilgan alfavit doirasida uzunligi o'zgaruvchi kodlardan foydalanish.</p> <p>Use within the set alphabet of codes of variable length for the purpose of reduction of number of symbols in the message to the minimum necessary for submission of all information of the message or at least for providing conditions of such reduction.</p>
<p>Кодирование с критерием верности Haqiqiylik mezoni bo'yicha kodlash Coding with fidely criterion</p>	<p>Преобразование сообщения источника в кодовое слово, такое, что обратное преобразование приводит к некоторому другому сообщению, близкому к исходному в смысле заданного критерия верности.</p> <p>Manba xabari kod so'ziga shunday o'zgartiriladiki, teskar o'zgartirish berilgan haqiqiylik mezoni nuqta nazaridan, dastlabki xabarga yaqin qandaydir boshqa xabarni beradi.</p>

	Transformation of the message of a source to the code word, such that leads the return transformation to some other message close to initial that is set criterion of fidelity.
Кодирование, использующее флаг Bayroqdan foydalanib kodlash Flag based coding	<p>К коду добавляется некоторая последовательность символов, которая не является кодовым словом и в процессе работы может быть использована как разделитель между словами.</p> <p>Kodga kod so'zi bo'lmagan qandaydir simvollar ketma-ketligi qo'shiladi va u ish jarayonida so'zlar orasidagi ajratuvchi sifatida ishlatiladi.</p> <p>To a code some sequence of symbols which isn't the code word is added and in the course of work can be used as a divider between words.</p>
Кодирующее устройство Kodlash qurilmasi Coder	<p>Автоматическое или автоматизированное устройство для кодирования программ и данных на носителе информации с целью последующего их ввода в компьютер.</p> <p>Kompyuterga kiritish maqsadida dasturlarni va ma'lumotlarni axborot eltuvchisida avtomatik yoki avtomatlashtirilgan tarzda kodlash qurilmasi.</p> <p>The automatic or automated device for coding of programs and data on a data carrier for the purpose of the subsequent their input in the computer.</p>
Кодовая решетка Kod panjara Code trellis	<p>Направленный граф, в который превращается дерево сверточного кода с конечной длиной ограничения.</p> <p>uzunligi cheklangan o'raluvchi kod daraxti aylanadigan yo'naltirilgan graf.</p> <p>The directed count into which the tree of a convolutional code with a final length of restriction turns.</p> <p>Семейство двоичных линейных</p>

Коды Боуза Чоудхури Хокенгема (коды БЧХ) Bouz Choudhuri Hokengem kodlari (BCHX kodlar) Bose Chaudhuri Hocquenghem codes (BCH codes)	<p>блоковых кодов с исправлением ошибок. Эти коды весьма эффективны, но главное их преимущество состоит в простоте кодирования/ декодирования (с использованием сдвиговых регистров). Их можно рассматривать и как обобщение кодов Хэмминга, и как специальный случай кодов Рида-Соломона. Коды БЧХ используются и в качестве циклических кодов.</p> <p>Xatoliklarni tuzatuvchi ikkili chiziqli blokli kodlar oilasi. Ushbu kodlar juda effektiv, ammo ularning eng muhim afzalligi kodlashning / dekodlashning (siljitivchi registrlar yordamida) soddaligi hisoblanadi. Ularni Xemming kodining umumlashirilgani kabi va Rid Solomon kodining maxsus xoli sifatida ko'rish mumkin. BCHX kodlar siklik kodlar sifatida ham ishlatiladi.</p> <p>Family of binary linear block codes with correction of mistakes. These codes are very effective, but their main advantage consists in simplicity of coding / decoding (with use of shift registers).</p>
Коды Голя Goley kodlari Golay codes	<p>Семейство совершенных линейных блоковых кодов с исправлением ошибок. Наиболее полезным является двончный код Голя. Известен также трончный код Голя. Коды Голя можно рассматривать как циклические коды.</p> <p>Xatoliklarni tuzatuvchi mukammal chiziqli blokli kodlar oilasi. Goleyning ikkili kodi eng foydali hisoblanadi. Goleyning uchli kodi ham ma'lum. Goley kodlarini siklik kodlar sifatida ko'rish mumkin.</p> <p>Family of the made linear block codes with correction of mistakes. The most</p>

	useful is Goley's binary code. Goley's also ternary code is known. Goley's codes can be considered as cyclic codes.
Коды Рида Мюллера Rid Myuller kodlari Reed Muller codes	Семейство двоичных циклических блочных кодов с исправлением ошибок. Xatoliklarni tuzatuvchii ikkili siklik blokli kodlar oilasi. Family of binary cyclic block codes with correction of mistakes.
	Важное семейство линейных блочных кодов с исправлением ошибок, особенно удобных для исправления пакетов ошибок. Они могут рассматриваться и как обобщение кодов Боуза Чоудхури Хокенгема, и как особый случай кодов Гоппы, могут быть отнесены к циклическим кодам. Xatoliklarni tuzatuvchi, ayniqsa, xatoliklar paketini tuzatishga qulay chiziqli blokli kodlarning muhim oilasi. Ushbu kodlarni Bouz CHoudxuri Xokengem kodlarining umumlashtirilgani sifatida va Goppa kodlarining maxsus xoli sifatida, siklik kodlar sifatida ko'rish mumkin.
Коды Рида Соломона Rid Solomon kodlari Reed - Solomon codes	Important family of linear block codes with correction of the mistakes which are especially convenient for correction of packages of mistakes. They can be considered and as generalization of codes of Bose Chaudhuri Hocquenghem and as a special case of codes of Goppu, which can be carried to cyclic codes.
Коды с повторением Takrorlanuvchi kodlar Repetition codes	Семейство совершенных циклических блочных кодов с исправлением ошибок, в котором ключевые слова формируются просто г-кратным повторением слов сообщения. Если данные коды рассматривать как коды с

	параметрами (n, k) , то для любого k у них $n=rk$. Kalit so'zlari xabar so'zlarining oddiy "r"- karrali takrorlanishi orqali shakllanuvchi, xatolikni tuzatuvchi mukammal siklik blokli kodlar oilasi. Agar berilgan kodlarda (n,k) parametri kodlar sifatida qaralsa, ixtiyoriy "k" uchun ularda " $n = rk$ " bo'ladi.
	Family of the made cyclic block codes with correction of mistakes in which keywords are formed by simply r-fold repetition of words of the message. If to consider these codes as codes with parameters (n, k) for any k of $n=rk$ at them.
Компилятор Kompilyator Compiler	Транслятор, предназначенный для выполнения компиляции. Kompilyasiyani amalga oshirishga mo'ljallangan translyator. The translator intended for performance of compilation.
Контроль по избыточности Ortiqchalik bo'yicha nazorat Redundancy control	Контроль, выполняемый или с помощью резервированных технических средств, или на основе избыточной информации и обеспечивающий выдачу сведений о наличии определенных ошибок. Muayyan xatoliklar mavjudligi xususida xabar berilishini ta'minlovchi rezervlangan texnik vositalar yordamida yoki ortiqchalik axborot asosida bajariluvchi nazorat. The control which is carried out or by means of redundant technical means, or on the basis of surplus information and providing issue of data on existence of certain mistakes.
Контрольный код Nazorat kodi Check code	Код, позволяющий автоматически обнаруживать, локализовать и устранять ошибки в передаваемых данных.

	Uzatilayotgan ma'umotlardagi xatoliklarni avtomatik tarzda aniqlash, lokalizatsiya va bartaraf etishga imkon beruvchi kod.
	The code allowing automatically to find, localize and eliminate errors in transmitted data.
Коэффициент сжатия в источнике сообщений Xabarlar manbaida zichlash koeffitsienti The compression ratio of the message source	Отношение длин сообщения до и после его сжатого кодирования. Xabarning dastlabki uzunligining, zichlab kodlanganidan keyingi uzunligiga nisbati. The relation of lengths of the message before its squeezed coding.
Машинный код Mashina kodi Machine code	Двоичный код, используемый для кодирования машинных команд по правилам, предусмотренным в данном типе компьютера. Kompyuterning muayyan turida ko'zda tutilgan qoidalar bo'yicha mashina komandalarini kodlash uchun ishlatiladigan ikkili kod. The binary code used for coding of machine teams by rules, provided in the computer this type.
Нарушение кода передачи Uzatish kodining buzilishi Transmission code violation	Использование цифр, не принадлежащих коду передачи данных по линиям связи. Aloqa liniyalari bo'yicha ma'lumotlarni uzatish kodiga taalluqli bo'lmagan raqamlardan foydalanish. Use numbers do not belong to the code data on the communication lines.
Некорректируемая ошибка Tuzatilmaydigan xatolik Uncorrectable error	Ошибка в сообщении, которая не может быть исправлена средствами корректирующего кода. Tuzatuvchi kod vositalari yordamida tuzatib bo'lmaydigan xabardagi xatolik. Error messages that can not be corrected by means of correcting code.
	Для обнаружения ошибок либо в данные вводится определенная

Обнаружение и исправление ошибок Xatoliklarni aniqlash va tuzatish Error detection and correction	избыточность, позволяющая их контролировать, либо процесс вычислений дублируется. Некоторые ошибки, связанные с передачей данных, могут быть исправлены путем повторной пересылки этих данных. В других случаях приходится применять системы с прямым исправлением ошибок. Xatoliklarni aniqlash uchun ma'lumotlarga ulami nazoratlashga imkon beruvchi ortiqchalik kiritiladi yoki hisoblash jarayoni takrorlanadi. Ma'lumotlarni uzatish bilan bog'liq ba'zi xatoliklar ushbu ma'lumotlarni qayta uzatish yo'li bilan tuzatish mumkin. Boshqa xollarda to'g'ridan - to'g'ri tuzatish tizimlarini qo'llashga to'g'ri keladi. To detect errors in data or entering certain redundancy, allowing them to control, or the calculation process is duplicated. Some of the errors associated with data transmission, can be corrected by re-sending the data. In other cases it is necessary to use systems with forward error correction.
Однозначно декодируемый код Bir ma'noli dekodlanuvchi kod Uniquely decoded code	Код, слова которого образуют однозначно дешифрируемое множество. So'zlari bir ma'noli deshifrlanuvchi to'plamni hosil qiluvchi kod. Code words which form a uniquely decrypted set.
Помехи Xalallar Noise	Возмущения в канале связи, искажающие передаваемое сообщение. Uzatiluvchi xabarni buzuvchi aloqa kanalidagi g'alayon. Disturbance in the communication

	channel, which distort the transmitted message.
Помехоустойчивое кодирование Xalallarga bardoshli kodlash Noiseless coding	Использование кода, повышающего эффективность системы связи, в которой помехи отсутствуют вообще или незначительны. Помехоустойчивое кодирование в общем виде идентично кодированию источника. Xalallar umuman bo'lmagan yoki juda kam bo'lgan aloqa tizimi samaradorligini oshiruvchi kodlardan foydalanish. Umumiy holda xalallarga bardosh kodlash manbani kodlash bilan bir xil. Using code efficacy enhancing communication system in which interference or absent altogether negligible. Noiseless coding generally identical source coding.
Скремблер Skrembler Scrambler	Кодирующее устройство, используемое в цифровом канале, которое выдает случайную последовательность бит. Raqamli kanalda ishlatiluvchi, bitlarning ketma-ketligini shakllantiruvchi kodlovchi qurilma. An encoder used in a digital channel which provides a random sequence of bits.

MUNDARIJA

Muqaddima	3
1 Informatsiya, informatsion jarayonlar, sistemalar va BOB texnologiyalar	5
1.1. "Informatsiya" tushunchasi.....	5
1.2. Informatsion jarayonlar, sistemalar va texnologiyalar.....	7
2 Informatsiyani miqdoriy baholash	10
2.1. Informatsiyaning struktura o'Ichovi.....	10
2.2. Informatsiyaning statistik o'Ichovi. Entropiya.....	11
2.2.1. Shartli entropiya va birlashma entropiya.....	14
2.2.2. Nisbiy entropiya va xabarlarining ortiqchaligi.....	16
2.3. Informatsiyaning semantik o'Ichovi.....	18
2.4. Informatsiyani o'zgartirish.....	20
3 Informatsiyani uzatish va zichlash	24
3.1. Xalallar yo'qligida xabarlarini uzatuvchi informatsion sistema modeli.....	24
3.2. Xalallar mavjudligida xabarlarini uzatuvchi informatsion sistema modeli.....	27
3.3. Ma'lumotlarni zichlash.....	32
4 Kodlash va dekodlash	36
4.1. Kodlar, kodlash va dekodlash.....	36
4.2. Simvol kodlar. Prefiks kodlar.....	39
4.3. Samarali kodlarni qurishning Shannon-Fano algoritmi.....	41
4.4. Samarali kodlarni qurishning Xaffmen algoritmi.....	44
4.5. Eliasning samarali kodlari.....	47
5 Xalallarga bardosh kodlash	53
5.1. Xalallarning umumiy xarakteristikasi.....	53
5.2. Xalallarga bardosh kodlash.....	54
5.3. Kodning tuzatish qobiliyati bilan kod masofasi orasidagi bog'liqlik.....	58
5.4. Berilgan tuzatish qobiliyatli kodlarni qurish.....	62

6		
BOB	Chiziqli blok kodlar.....	
6.1.	Xemming kodi.....	65
6.2.	Siklik kodlar.....	65
6.3.	Boshqa chiziqli blok kodlar.....	70
6.4.	Teskari bog'lanishli sistemalar.....	76
7		77
BOB	Uzluksiz kodlar. Rekurrent kodlar.....	
7.1.	Avtomatlar nazariyasi.....	80
7.2.	Rekurrent kodlar.....	80
7.3.	Zanjir rekurrent kodlar.....	84
8		88
BOB	Kod o'zgartgichlari.....	
8.1.	To'g'ri koddan teskari va qo'shimcha kodlarni hosil qilish.....	94
8.2.	O'nli kodni ikkilik-o'nli kodda va ikkilik-o'nli kodni o'nli kodda ifodalovchi o'zgartgichlar.....	94
8.3.	Grey kodi.....	95
8.4.	Kodlash yordamida informatsiyani himoyalash.....	99
Adabiyotlar.....		101
Ilovalar.....		104
		106

GANIYEV SALIM KARIMOVICH
G'ULOMOV SHERZOD RAJABOYEVICH

AXBOROT NAZARIYASI VA KODLASH

DARSLIK

Toshkent - "METHODIST NASHRIYOTI" - 2024

Muharrir: Bakirov Nurmuhammad

Texnik muharrir: Tashatov Farrux
Musahhih: Hazratqulova Ruxshona
Dizayner: Ochilova Zarnigor

Bosishga 20.06.2024.da ruxsat etildi.
Bichimi 60x90. "Times New Roman" garniturasida.
Ofset bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog'i 9. Nashr bosma tabog'i 8,25.
Adadi 300 nusxa.

"METHODIST NASHRIYOTI" MCHJ matbaa bo'limida chop etildi.
Manzil: Toshkent shahri, Shota Rustaveli 2-vagon tor ko'chasi, 1-uy.



+99893 552-11-21

Nashriyot rozilgisiz chop etish ta'qiqlanadi.

ISBN 978-9910-03-184-7



9 789910 031847

