

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ
AZƏRBAYCAN DÖVLƏT İQTİSAD UNİVERSİTETİ**

Bayram Qasimov, İsa Musayev, Hafiz Bayramov

**İNFORMASIYANIN İŞLƏNMƏSİNİN
KODLAŞDIRILMASI**

Dərs vəsaiti

Azərbaycan Dövlət İqtisad Universitetinin Elmi-
Metodiki Şurasının 25.12.2017-ci il tarixli 1 sayılı proto-
koluna əsasən çapa tövsiyə olunur.

Bakı – 2018

Redaktor: **Bəşarət Qurbanov**

Rəyçilər: **Fikrət Feyziyev**
Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru

Həmdulla Əsgərov
Texnika elmləri namizədi

B. M. Qasımov, İ. K. Musayev, H. M. Bayramov.
İnformasiyanın işlənməsinin kodlaşdırılması. Dərs vəsaiti.
Bakı: “İqtisad Universiteti” Nəşriyyatı. – 2018. – 152 səh.

© Müəlliflər kollektivi - 2018
© “İqtisad Universiteti” Nəşriyyatı - 2018

MÜNDƏRİCAT

Giriş. Fənnin predmeti və məzmunu	7
Bölmə 1. Kodlaşdırmanın nəzəri əsasları	10
1.1. Kod haqqında ümumi anlayış	10
1.2. İnformasiyanın işlənməsinin kodlaşdırılması sistemlərinin ümumnəzəri əsasları	15
Bölmə 2. İnformasiya və kodlaşdırma nəzəriyyəsi	40
2.1. İnformasiyanın kəmiyyətə ölçülməsinin nəzəri əsasları	40
2.2. İnformasiya və kodlaşdırma nəzəriyyəsinin vəzifələri	44
2.3. İnformasiya ötürən sistemin modeli. Rabitə kanalları	47
2.4. İnformasiyanın kəmiyyətə qiymətləndirilməsi	49
2.5. Entropiya və onun xassələri	54
2.6. Şərti entropiya	58
2.7. Bolluq. İnformasiyanın ötürülməsi sürəti	60
2.8. Kodlar və onların təsviri	64
2.9. Optimal kodlaşdırma	72
2.10. İnformasiyaötürən sistemin maneəyə davamlılığı, səmərəliliyi və etibarlılığı	75
2.11. Uğultulu diskret rabitə kanalında ötürülən informasiyanın miqdarının hesablanması	78
2.12. Uğultu şəraitində kodlaşdırma haqqında Şennon Teoremi	79
2.13. İnformasiyanın ötürülməsinin etibarlılığının yüksəldilməsi metodları	82
2.13.1. Aşkarlayıcı kodlar və səhvlərin düzəldilməsi	82

Bölmə 3. Qənaətcil kodlaşdırma sistemləri	87
3.1. Qənaətcil kodlaşdırma haqqında ümumi məlumat	87
3.2. Müxtəlif ölçülü kodlar	88
3.3. İlk məftilsiz teleqraf (radioqəbuledici)	88
3.4. Bodun teleqraf aparatı	89
3.5. Kompüterdə ikilik kodlaşdırma	89
3.6. Məlumatları şifrələmə	90
3.7. İnformasiyanın növləri	91
3.8. Diskret məlumatlar	92
3.9. İnformasiyanın miqdarı və Xartli formuluna misal	95
3.10. Xəbərdə informasiyanın miqdarı və entropiya ...	98
3.11. Şərti informasiya. Şərti entropiya	101
3.12. Markov mənbəyi	105
3.13. Diskret mənbənin bərabər uzunluqlu kodlarla kodlaşdırılması məsələsi	107
3.14. Diskret mənbənin müxtəlif ölçülü kodlaşdırma məsələsi	110
3.14.1. Unikal dekodlaşdırma kodları	110
3.14.2. Kod ağacı. Kraft bərabərsizliyi	115
3.14.3. Müxtəlif ölçülü optimal kodlar	118
3.14.4. Şennon – Fano alqoritmi	119
3.14.5. Haffman alqoritmi	121
3.14.6. Haffman kodlarının dekodlaşdırılması	125
3.15. Xemminq kodu	125
3.15.1. Xemminq məsafəsi	125
3.15.2. Xemminq alqoritmi	127
3.16. Hesabi kodlaşdırma	131
3.17. Diskret məlumatlar ardıcılığının itkisiz qənaətlə kodlaşdırma metodları	134
3.18. Lüğət üsulları	135

3.19. Alqoritm LZ77 və LZSS	135
3.20. Qrafiki informasiyanın göstərilməsi	138
3.20.1. Şəklin diskretləşməsi nə üçün lazımdır?	139
3.20.2. Qrafiki informasiyanın vektor və rastr göstərilməsi	141
3.21. Səsin və danışığın sıxılması	143
3.22. Səs yazılışı anlayışı	145
3.23. İmpulse kod modulyasiyası	145
ƏDƏBİYYAT	149
ƏLAVƏ	150
ASCII kodlarından fraqment	151

Giriş. Fənnin predmeti və məzmunu

İnformasiya – izah etmək mənası verən söz olub, ideal və qeyri-məxsusi anlayışdır, lakin real vasitələr üzərinə yüklənə bilən olduğundan, ölçüyə gələn, həcmi, miqdarı, qiymətliliyi, faydalılığı, gerçəkliyi təyin edilə biləndir. Əslində, informasiya daşıyıcının (işarənin, siqnalın və s.) atributu, onun vəziyyət xarakteristikasıdır. Çünki hər hansı informasiyanı almaq üçün, ilk növbədə, onun daşıyıcısını “oxumaq” lazımdır. Odur ki, informasiyanın işlənməsi və ya dəyişdirilməsi dedikdə, ilk növbədə, onun daşıyıcısının işlənməsi və ya dəyişdirilməsi nəzərdə tutulur.

İnformasiya – sistemin ayrılmaz hissəsi olmaqla, idarəetmənin substratıdır. Buna görə də istər hər cür tədqiqat, istərsə də idarəetmə, mahiyyətcə, informasiya proseslərinin gətirdiyi məkan və ya fəzadır. Bu baxımdan, dünyada baş verən bütün hadisə və proseslər informasiya proseslərinə transformasiya ediləndir. Transformasiya isə mahiyyətcə, tərcümədən başqa bir şey deyildir. Tərcümə - ciddi qanunlara tabe edilmiş dəyişdirmədir ki, buna da elmdə kodlaşdırma deyilir.

Beləliklə, “İnformasiyanın işlənməsinin kodlaşdırılması sistemləri” adlanan bu fənn həm ümumnəzəri, həm də praktiki aspektlərə malik olmaqla, informatikanın fundamental problemlərinin şərhini özündə əks etdirir.

Bu fənnin məzmununa informasiya və kodlaşdırma proseslərinin mahiyyətini aydınlaşdıran məsələlər, informasiyanın kəmiyyət və keyfiyyət xarakteristikalarını verən biliklər, həmçinin kodlaşdırma metodları və sistemlərinin şərhilə bağlı mövzular daxildir.

Təqdim edilən dərs vəsaitinin nəzəri təməlində informasiya nəzəriyyəsinin bir qolu olan statistik informasiya nəzəriyyəsi dayanır. Bu nəzəriyyənin əsas məzmununu təşkil edən məsələlərin sırasına mənbələrdə olan məlumatların qənaətlə kodlaşdırılması və uğultulu rabitə kanalları vasitəsilə etibarlı ötürülməsi kimi tədqiqat üsulları daxildir. Statistik informasiya nəzəriyyəsinin əsasında məlumatların mənbələrinin və rabitə kanallarının statistik təsviri (statistik modeli) durur. Klod Şennonun görə, məlumatlar arasında informasiya miqdarının ölçüsü, yəni informasiyanın miqdarı məlumatların ehtimal xassələrinə görə müəyyən edilir və onların digər xüsusiyyətlərindən asılı deyildir. İnformasiyanın Şennon nəzəriyyəsinin mövzusu, adətən müxtəlif metodlarla məlumatların emalı və ötürülməsi imkanlarının son həddini müəyyən edir. Bu mümkün məhdudiyyətlər yalnız mənbələrin və kanalların statistik xassələrindən asılıdır.

İnformasiyanın Şennon nəzəriyyəsinin məsələsi kimi aşağıdakı üç tipik nümunəni göstərmək olar:

1. Fərz edək ki, məlumat mənbəyi verilmişdir. Mənbənin yaratdığı məlumatlar ardıcılığını göstərmək üçün az sayda simvollar (məsələn, ikilik) ardıcılığını tapmaq tələb olunur. Bununla belə, mənbə məlumatlarını bərpa edən zaman keyfiyyət meyarı müəyyən etmək olar və tələb etmək olar ki, göstərilən məlumatlar ardıcılığının bərpası zamanı buraxılan səhvlər verilən meyara nisbətən kiçik olsun.

2. Fərz edək ki, rabitə kanalı verilmişdir. Qəbul olunan məlumatların səhv olma ehtimalını kiçik edə bilən, bu kanalın maksimum ötürülmə sürətini tapmaq tələb olunur.

3. Tutaq ki, bizə mənbə və kanal, eləcə də müəyyən keyfiyyət meyarları verilmişdir.

Məlumatın verilən mənbədən verilən kanala keçməsi ilə əldə edilə bilən səhvin verilən meyara nisbətən minimum olması tələb olunur.

Hər dəfə, belə məsələlərin həlli zamanı təkcə ikilik simvolların sayının, ötürülmə sürətinin, yaxud səhvlərin kəmiyyətlərinin son qiymətlərinin tapılmasına cəhd olunmur, həm də göstərilən son həddə nail olmağa imkan verən müəyyən emal üsullarının tapılması tələb olunur. Lakin çox vaxt ən yaxşı kodlaşdırma və dekodlaşdırma üsullarını göstərmək mümkün olmur.

Dərs vəsaiti giriş, 3 bölmə, ədəbiyyat siyahısı və əlavədən ibarətdir.

Bölmə 1. Kodlaşdırmanın nəzəri əsasları

1.1. Kod haqqında ümumi anlayış

Kod - latınca *codex* sözündəndir, qanunlar külliyyatı deməkdir. Kod – istənilən növ informasiyanı müəyyən məsafəyə ötürmək, yaxud da mexanikləşdirilmiş və avtomatlaşdırılmış əməliyyatlardan keçirmək üçün ona əlverişli forma vermək məqsədi ilə yaradılan şərti işarələr (simvollar) və ya siqnallar sistemidir. Kod siqnallarını yazmaq üçün çox vaxt rəqəmlərdən, yaxud işarələrdən istifadə olunur, məsələn “-“ (minus), “+” (plyus), . (nöqtə), - (tire) və s. Hər bir kod simvoluna müəyyən elementar fiziki siqnal uyğun gəlir.

Texnikada hər bir kod müəyyən fiziki parametərə malik olan hər hansı elementar siqnalın şərti işarəsidir.

Telemexanikada isə kodlaşdırılmış kəmiyyətlərin qiyməti müvafiq tərzdə əks etdirən elektrik impulslarından ibarət kombinasiyalarla verilir. Qabaqcadan bu kəmiyyətlər kvantlanır, sonra isə kodlaşdırıcı qurğu vasitəsilə qəbul olunmuş kodlaşdırma sisteminə uyğun kod kombinasiyalarına çevrilir.

Teleqraf kodu – teleqraf rabitəsində qəbul edilmiş şərti siqnallar sistemidir. Teleqraf kodunda hər bir hərfə, rəqəmə, ümumiyyətlə, işarəyə (simvola) elektrik cərəyanının müəyyən elementar göndərişlər (impuls) kombinasiyası uyğun gəlir. Hər işarəni ifadə etmək üçün göndərişlərin sayı müxtəlif (qeyri-bərabər uzunluqlu teleqraf kodu) və ya eyni (bərabər uzunluqlu teleqraf kodu) ola bilər. Birinciyə intervallara bölünmüş qısa (nöqtə) və yaxud uzun (tire) göndərişlərdən ibarət Morze kodunu misal göstərmək olar. Bərabər uzunluqlu teleqraf kodunda hər işarəyə uyğun cərəyan göndərişlərinin kombinasiyaları yalnız plyus və minus (və ya interval) göndərişləri ardıcılığının müxtəlifliyi ilə fərqlənir. Verilənlərin ötürülməsində və radiote-

leqraf kanallarında böyük maneələr olduqda qəbul edilmiş işarələr kombinasiyasında müəyyən miqdarda səhvləri aşkar etməyə və düzəltməyə imkan verən ifrat korreksiyaedici kodlardan istifadə edilir.

Hərbi kod texniki rabitə vasitələri ilə hərbi xarakterli məxfi məlumatları gizli şəkildə vermək üçün işlədilən şərti işarələr sistemidir. Şərti işarələr rəqəmlərdən, hərflərdən və s. ibarət olub qərargahlarda tərtib edilir. Müəyyən müddət və ya döyüş vaxtı üçün tərtib olunmuş danışiq və radiosiqnal cədvəlləri ən sadə kod kimi işlədilir. Ümumqoşun və xüsusi (bir qoşun və ya silahlı qüvvələr növü üçün, məsələn, aviasiya, hərbi-dəniz və s.) kodlar vardır.

Hesablama texnikasında kod informasiyanın qəbul olunmuş şərti işarələr sistemindəki təsviri və ya ifadəsidir. İkilik kod daha əlverişlidir. Çünki bu kodda yalnız 0 və 1 işlədildiyindən ədədlərin uyğun elektrik siqnalları vasitəsilə təsviri nisbətən sadədir. Hesab əməllərinin yerinə yetirilmə alqoritmlərini sadələşdirmək üçün düz, əks və tamamlayıcı kod işlədilir. Hər üç kodda ədədin işarəsi ümumi halda bir ikilik mərtəbə ilə ifadə olunur. Ədəd müsbətdirsə, həmin mərtəbəyə 0, mənfidirsə 1 yazılır. Çıxmanı toplamaya gətirmək üçün əks və ya tamamlayıcı kodlar işlədilir. Onlar mənfə ədədlər üçün özünün düz kodundan fərqlənir.

Mənfə ədədin əks kodunu almaq üçün onun düz kodundakı sıfırlar vahidlərlə və əksinə əvəz edilir (işarə mərtəbəsindən başqa). Toplamada cəmin qiymətlərinə görə mərtəbələr şəbəkəsi daşdıqda dövrü köçürmə alınə bilər. Bu, əlavə toplama tələb etdiyindən tamamlayıcı kod işlədilir. Tamamlayıcı kodu almaq üçün onun əks kodunun kiçik mərtəbəsinə 1 əlavə edilir və dövrü köçürmə nəzərə alınmır. Məsələn, verilmiş $x = 0,625$ və y

= -0,125 ədədləri üçün uyğun kodlar $X_{düz} = 0,101$; $Y_{düz} = 1,001$;
 $Y_{oks} = 1,110$; $Y_{tamamlayıcı} = 1,111$.

Onluq-ikilik, onaltılıq-ikilik, səkkizlik-ikilik və s. kod da işlədilir.

Kodlaşdırma dedikdə, obyektlər çoxluğunun hər elementinin qəbul olunmuş şərti işarələr sistemindəki təsvirini almaq nəzərdə tutulur. Kodlaşdırma informasiyanın ötürülməsi, saxlanması və işlənməsi əməliyyatlarını yerinə yetirən müxtəlif sistemlərdə (məsələn, rabitə, avtomatlaşdırılmış idarəetmə, informasiya ölçü sistemləri, EHM) işlədilir. Kodlaşdırma 0 və 1 rəqəmləri (və ya iki elementar siqnal) vasitəsilə aparılırsa, ikilik kodlaşdırma, alınmış kod isə ikilik kod adlanır. Kodlaşdırmaya aid məsələlərin tədqiqi amerikan alimi K.Şennonun yaratdığı kodlaşdırma nəzəriyyəsinə əsasən aparılır. Statistik kodlaşdırma informasiya mənbəyinin statistik xarakteristikalarına əsaslanır.

Kompüter tətbiq edən istənilən müəssisə və ya təşkilat iqtisadi informasiyanın müxtəlif elementləri üçün xüsusi kodlar hazırlamağa məcburdur. Bu kodlar adətən lokal xarakterlidir.

Lokal kodlar sıralı, seriyalı və mövqeli sistemlərdə qurula bilir. Sıralı kod nomenklaturanın ardıcıl nömrələnməsi şəklində tərtib edilir. Seriyalı kodlar birəlamətli təsnifləşdirmə zamanı tətbiq edilir. Burada hər bir əlamət ümumi seriyaya malik olur. Çoxəlamətli təsnifləşdirmədə mövqeli kodlardan istifadə edilir. Burada hər əlamət bir səviyyə kimi götürülür və müvafiq işarə ilə şifrələnir. Bunlardan başqa təkrar kod və şahmatşəkili kodlar da vardır.

Lokal kodlar makroiqtisadi səviyyədə müəyyən çətinliklər törədir. Odur ki, bu məqsədlə təsnifləşdiricilərdən istifadə edilir. Təsnifləşdirici dedikdə, hər birinə uyğun şifr verilmiş elementlərin ardıcıl siyahısı nəzərdə tutulur. Əslində təsnifləş-

dirici iqtisadi elementlərin 10-luq say sistemində hazırlanmış lüğət kitabıdır. Bununla əlaqədar olaraq, kodlaşdırılacaq nomenklatura 10 iri sinfə bölünür. Hər bir sinfə 0-dan 9-dək 1 rəqəm verilir. Sonra hər bir sinif 10 alt sinfə bölünür və 0-dan 9-dək nömrələnir. Sonra hər bir alt sinif 10 qrupa, hər qrup 10 alt qrupa bölünür və nömrələnir. Kodun bu cür qurulması elementlər çoxluğunu dərəcələr (mərtəbələr) üzrə qruplaşdırmağa imkan verir.

Kod şifrlərinin uzunluğu təsnifləşdirmə dərinliyini ifadə edir. Bu, qarşıda duran məqsədə çatmağa imkan versə də, yaddaşdan pis istifadə edir. Çünki olduqca çoxlu boş yerlər qalır. Bundan əlavə, hal-hazırda tətbiq edilən 10 mərtəbəli kodun cəmi 10 faizindən istifadə edilir.

Müəssisə səviyyəsində 10 mərtəbəli kodlarla işləmək münasib deyil. Odur ki, burada ümumi kodun aşağı mərtəbələrindən istifadə edilir.

İqtisadi informasiyanın optimal kodlaşdırılması mühüm əhəmiyyət daşıyır. Bunu təsvir etmək üçün fərz edək ki, 10 min növ xammal, material və komplektləşdirici məmulatlara malik olan müəssisə ehtiyatların səviyyəsinə nəzarət etmək məsələsini kompüterdə həll etmək üçün material nomenklaturasını kodlaşdırmaq istəyir. Əgər belə fərz edilsə ki, mədaxil-məxaric sənədlərində bütün mövqelər eyni ehtimalla iştirak edir, onda bunu kodlaşdırmaq üçün 5 işarəli kod kifayətdir:

$$k \geq H_0 \geq \lg 10^5 = 5$$

Lakin nomenklatura mövqelərinin eyni ehtimallı olması praktiki olaraq mümkün olan iş deyil. Buna görə də fərz edək ki, biz nomenklaturanı mədaxil-məxaric tezliyinin azalması istiqamətində düzüb, 3 eyni ehtimallı qrup almışıq. Birinci qrupdakı 100 elementin hər biri 0,7 ehtimalla xarakterizə edilir. İkinci qrupdakı elementlərin ehtimalları 0,2-dir və burada

1000 element vardır. Üçüncü qrupdakı elementlərin sayı 8900-dür və ehtimalları 0,1-dir. Optimal kodlaşdırma prinsipi-nə görə ehtimalı böyük olan qrupun kodu qısa olmalıdır. 100 elementi sıra ilə kodlaşdırsaq, 2 işarə (00-99) bəs edər. Bu qayda ilə 2-ci qrupdakı 1000 elementə 3 işarə (000-999) kifayət edəcəkdir. Üçüncü qrupdakı 8900 elementi sıra ilə kodlaşdırmaq üçün isə 4 işarə (0000-9999) tələb olunur. Bu halda, kodun orta uzunluğu:

$$2 \times 0,7 + 3 \times 0,2 + 4 \times 0,1 = 2,4 \approx 3$$

işarə olar.

Göründüyü kimi, bu kodun uzunluğu eyni ehtimallı hala nisbətən 2 dəfədən çox, 10 mərtəbəli koda nisbətən isə 3 dəfədən çox qısadır. Lakin sistem böyük olduqca ehtimalları dəqiq təyin etmək çətinləşdiyindən, qurulan kodun optimallığı daha çox şərti xarakter daşıyır.

Fərz edək ki, bütövlükdə bir ölkədə 70 mln adda məhsul istehsal edilir. Eyni ehtimallı hal üçün:

$$k \geq H_0 \geq \lg 7 \cdot 10^7 = 7,845 \approx 8$$

işarə lazımdır.

Bu, 10 mərtəbəli koda nisbətən 20% qısa olsa da, etibarlılıq səviyyəsi aşağıdır, gedən səhvi aşkarlamaq mümkün deyildir.

İndi fərz edək ki, müəssisə-nazirlik-dövlət səviyyələrində istifadə edilən informasiyanın həcm nisbətləri 20:2:1 kimidir. Bu nisbətlər lokal kod tətbiqinin məqsədəuyğun olduğunu göstərir.

1.2. İnformasiyanın işlənməsinin kodlaşdırılması sistemlərinin ümumnəzəri əsasları

“İnformasiyanın işlənməsinin kodlaşdırılması sistemləri” fənninin əsas açarlarından biri *idarəetmədir*.

İdarəetmə, mahiyyətə seçmədir və aşağıdakı 5 elementin məcmusudur:

1. İdarə edilən sistem;
2. İdarəedici sistem;
3. İdarəetmə zənciri;
4. İdarəetmə konturu;
5. İdarəetmə prosesi.

İdarə edilən sistem dedikdə, elə sistem nəzərdə tutulur ki, onda arzu edilən dəyişiklik yalnız başqa sistemin təsiri ilə mümkündür.

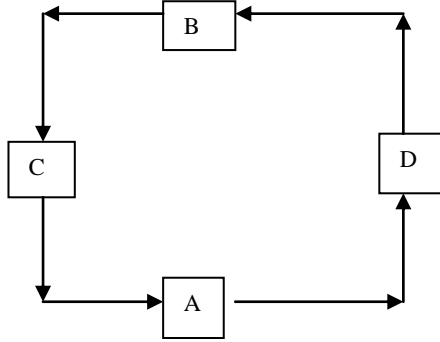
İdarəedici sistem o sistemdir ki, onun təsiri digər sistemdə arzu edilən dəyişiklik törədir.

İdarəetmə zənciri dedikdə, elə sistem nəzərdə tutulur ki, bir sistemin digər sistemə təsiri yalnız onun vasitəsilə mümkün olur.

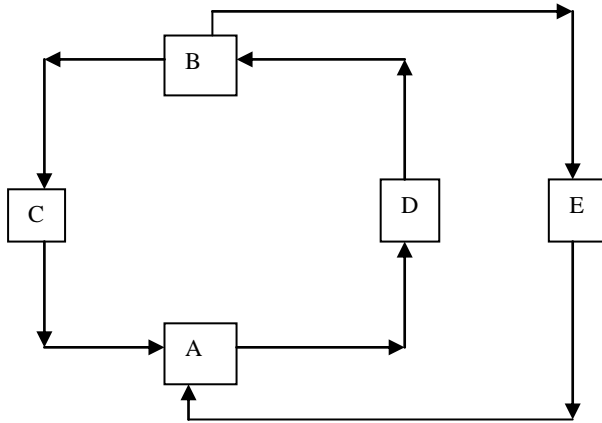
İdarəetmə konturu dedikdə, idarəedici və idarə edilən sistemlərdən, həmçinin, idarəetmə zəncirindən ibarət olan əks-əlaqə konturu başa düşülür.

İdarəetmə prosesi – idarəetmə konturunda baş verən hadisələrdən əmələ gələn prosesdir.

Beləliklə, idarəetmə konturu aşağıdakı kimi təsvir edilə bilər:



Göründüyü kimi, bu konturda ayrı-ayrı elementlərin funksiyaları təyin edilməmişdir. Yəni, nəyin idarəedici, nəyin idarə edilən, nəyin idarəetmə zənciri olduğu aydın deyil. Elementlərin icra etdikləri funksiyaların təyin edilməsi üçün B-C-A-D konturuna kənar element (E) qoşmaq lazım gəlir:



Bu halda, əvvəla, B-C-A-D konturu digər idarəetmə konturunun tərkib hissəsi kimi təsəvvür edilir ki, bu daha doğrudur, ikincisi də, E sisteminin təsiri A sistemə yönəldiyindən, A- idarəedici sistem, B – idarə edilən sistem, C və D isə

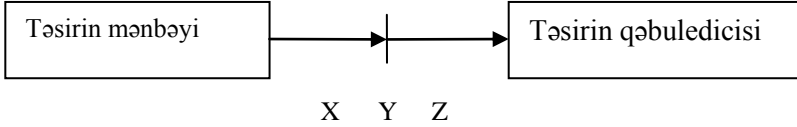
idarəetmə zəncirləri kimi fəaliyyət göstərir. Yəni, B sistemində arzu edilən dəyişiklik törətmək üçün E sistemi A sistemindən istifadə edir. Burada arzu edilən dəyişiklik dedikdə, heç də yalnız insan psixikası ilə bağlı olan məna nəzərdə tutulmur. *Arzu edilən dəyişiklik* məqsədə çatma addımı kimi dərk edilir. Məqsəd isə sistemin yaradıcısı və yaşadıcısıdır. Çünki məqsəd, mahiyyətə, ilk növbədə, motivasiya mənbəyidir.

Bu yanaşmada idarəetmə prosesi idarəetmə konturunda baş verən dəyişikliklər ardıcılığından, yəni, əvvəla, B sisteminin çıxışındakı dəyişiklikdən, sonra A sisteminin girişindəki dəyişiklikdən, sonra A sisteminin çıxışındakı dəyişiklikdən, sonra B sisteminin girişindəki dəyişiklikdən və sonra B sisteminin çıxışındakı dəyişiklikdən və s. ibarətdir. Göründüyü kimi, A sisteminin çıxışındakı dəyişiklik B sisteminin çıxışındakı dəyişiklikdən deyil, özünün, yəni A sisteminin öz girişindəki dəyişiklikdən asılıdır. Məhz bu, idarəetmə zəncirinin mövcudluğunu göstərir. Yəni, idarəedicilərlə idarə edilən sistem birbaşa bağlı deyildir. Bu sistemlərin fəaliyyəti onların arasında fəaliyyət göstərən idarəetmə zəncirindən asılıdır.

Burada nəzərdən keçiriləcək əsas anlayışlardan biri də xəbərdir.

Xəbər – idarəetmə konturunda baş verən elə fiziki dəyişiklikdir ki, digər fiziki dəyişikliklərdən müəyyən şəkildə fərqlənir. Xəbər mənbədə yaranır, ünvanda istehlak edilir. Xəbər təsirin yüküdür. Təsir - dəyişdirmənin substratıdır. Təsirin mənbəyi dedikdə, idarəetmə konturundakı digər sistemə təsir edən sistem nəzərdə tutulur. Təsirin qəbulədicisi dedikdə, idarəetmə konturundakı digər sistemin təsirinə məruz qalan sistem başa düşülür. Bu təriflərdən aydın olur ki, idarəetmə zənciri təsir mənbəyinin çıxışından başlayıb təsir qəbulədicisinin girişində

baş a çatır. İdarəetmə zənciri ümumi şəkildə aşağıdakı kimi təsvir edilə bilər:



Təsir mənbəyinin çıxışındakı dəyişikliyin təsiri qəbul edən girişində dəyişiklik törətməsi üçün bunların arasında müəyyən fiziki proses baş verməlidir ki, bu da müəyyən sayılı fiziki vəziyyətlərdən ibarət olmalıdır.

Hər bir fiziki vəziyyətə iki tərəfdən, bir maddi-enerji, bir də struktur tərəfdən baxmaq olar. Maddi-enerji aspekti enerjinin miqdarı və kütlə ilə, struktur aspekti isə enerji və kütlənin məkanda və zamanda paylanması ilə təsvir edilir. İdarəetmə prosesi həm maddi-enerji, həm də struktur dəyişikliyindən ibarət prosesdir. Yəni idarəetmə sadəcə riyazi deyil, həm də fiziki aspekti olan seçmə məsələsidir. Riyazi aspekt informasiya ilə, fiziki aspekt kodla reallaşdırılır.

Beləliklə, idarəetmə zəncirindəki təsir müəyyən sayılı fiziki vəziyyətlərdən, başqa sözlə, xəbər çoxluqlarından ibarətdir.

Xəbərlər çoxluğu uzununa və eninə olmaqla, 2 növ olur.

Eninə xəbərlər çoxluğu dedikdə, idarəetmə zəncirinin ixtiyari yerində olan xəbərlər çoxluğu nəzərdə tutulur.

Uzununa xəbərlər çoxluğu müxtəlif eninə xəbərlər çoxluqlarından törəyən xəbərlər çoxluğudur.

Nəyin təsir mənbəyinin çıxışı, nəyin isə təsir qəbuledicisinin girişi olması üçün ayrıca şərtləşmək lazımdır. Bunun üçün *orijinal, obraz və aralıq xəbər* anlayışları daxil edilir.

Orijinal dedikdə, təsir mənbəyinin çıxışındakı eninə xəbərlər çoxluğundan olan xəbər nəzərdə tutulur.

Obraz dedikdə, təsir qəbuledicisinin girişindəki eninə xəbərlər çoxluğundan olan xəbər başa düşülür.

Aralıq xəbər dedikdə, təsir mənbəyinin çıxışı ilə təsir qəbuledicisinin girişi arasındakı eninə xəbərlər çoxluğundan olan xəbər nəzərdə tutulur.

Beləliklə, idarəetmə zənciri, həm də bir idarəetmə kanalı olmaqla, X, Y və Z kimi eninə xəbərlər çoxluqlarından ibarətdir ki, bu çoxluqların hər biri də 3 xəbərdən təşkil olunmuşdur:

X	Y	Z
1•x1	•y1	•z1
2•x2	•y2	•z2
3•x3	•y3	•z3

Burada: x_1, x_2, x_3 - orijinallar çoxluğu; y_1, y_2, y_3 - aralıq xəbərlər çoxluğu; z_1, z_2, z_3 - obrazlar çoxluğu; x_1, y_1, z_1 - 1-ci eninə xəbərlər çoxluğu; x_2, y_2, z_2 - 2-ci eninə xəbərlər çoxluğu, x_3, y_3, z_3 - 3-cü eninə xəbərlər çoxluğudur.

Beləliklə, idarəetmə zəncirindəki dəyişdirmə, mahiyyət-cə, orijinalların aralıq xəbərlərin köməyi ilə obrazlara çevrilmə-sindən başqa bir şey deyil.

Hər bir ölçmə ölçülən kəmiyyətin, yəni, orijinalın ədədi qiymətinin təyin edilməsi prosesidir. Ölçmə prosesinin nəticəsi obrazın ədədi qiymətini verir.

İdarəetmə zəncirindəki dəyişdirmə həm fərdi, həm də qrup-şəkili olmaqla, həm forma, həm də məzmun mahiyyətli ola bilər. Bu baxımdan, xəbərlər həm paralel, həm də ardıcıl ola bilər.

Əgər xəbər müəyyən fiziki kəmiyyətin qiymətidirsə, həmin xəbər həm eyni zamanda müxtəlif məkanlarda, həm də

eyni məkanda müxtəlif zamanlarda həmin kəmiyyəti ifadə edə bilər. Məsələn, hava haqqındakı məlumatda temperatur göstəriciləri bu qəbildəndir.

Səbəb-nəticə zənciri düşüncəsinə görə, obraz orijinaldan sonra gəlməlidir. Halbuki, obraz orijinala həm eynizamanlı, həm də orijinaldan əvvəl gələ bilər. Bununla əlaqədar olaraq, idarəetmə 3 cür ola bilər:

1. Keçmiş hadisələr əsasında idarəetmə. Bu halda orijinal obrazdan əvvəl gəlir. Məsələn, müəyyən hadisəni (orijinalı) təsvir edən məktubun (obrazın) alınması.

2. Diaqnoz əsasında idarəetmə. Bu halda orijinala obraz eynizamanlıdır. Məsələn, alovun istiliyi (orijinal) ilə işığı (obraz).

3. Proqnoz əsasında idarəetmə. Bu halda obraz orijinaldan əvvəl gəlir. Məsələn, Günəşin tutulması (orijinal) barədə əvvəlcədən xəbər (obraz) verilməsi.

Beləliklə, aydın olur ki, idarəetmə zəncirindəki dəyişdirmə heç də əvvəl baş vermiş hadisədən sonra baş verən hadisənin alınması kimi dərk edilmir. Yəni, dəyişdirmə dedikdə, az əlçatan xəbərin çox əlçatan xəbərə çevrilməsi nəzərdə tutulur. Xəbər həm eynicins, həm də müxtəlif cins obyektləri təsvir edə bilər. Birinci halda, xəbər odur ki, o, başqalarından nə ilə fərqlənir. Məsələn, başqa rənglərdən fərqli rəng, başqa nöqtələrdən fərqli nöqtə və s. İkinci halda, xəbər başqalarından kəskin fərqlənəndir. Məsələn, yaşıl rəng 517 ədədindən, limon “pəncərə” sözündən, bənövşənin ətri saatdan kəskin fərqlənən xəbərdir. Belə xəbərlər, adətən, gizli mətləbləri ötürmək üçün istifadə edilir.

Xəbərlər aktiv və passiv olmaqla 2 növ olur. Aktiv xəbər hadisənin özü olub, enerjinin mövcud olduğu müddətdə ötürülərək başqa xəbərin yaranmasında iştirak edir. Passiv xəbər,

hadisənin izi olduğundan, enerji axını olmadan da mövcud olur və başqa xəbər in yaranmasında iştirak etmir.

Əgər təsir mənbəyindən daxil olan enerji hesabına orijinal-lar aktiv xəbərlər ardıcılığına çevrilərək ünvanın girişində alınmışsa və enerji kəsildikdən sonra həmin xəbərlər ünvanın giri-şində passiv xəbərlərə çevrilibsə, onda həmin xəbərləri aktivləşdirmək və obrazlara çevirmək üçün təsir qəbuledicisi özü enerji axını yaratmalıdır. Bu zaman qəbuledicinin yaratdığı enerji axını bütün parametrlər üzrə mənbəyin enerji axını ilə üst-üstə düşməlidir. Çünki əks halda, xəbər təhrif oluna bilər. Xəbər in təhrif olunması həmçinin o halda da baş verə bilər ki, idarəetmə istisnasız olaraq yalnız aktiv xəbərlərə əsaslanır və bu zaman aralıq xəbərlər qəbuledicinin yaratdığı enerji axını hesabına arzuolunmaz dərəcədə güclənir.

Bu deyilənləri nəzərə almaqla, idarəetmənin 2 növünü ayırmaq olar:

1. Yalnız aktiv xəbərlər əsasında idarəetmə. Məsələn, əq-rəbli cihazların göstərişlərinə əsaslanan idarəetmə.

2. Aktiv xəbərlər arasında heç olmazsa bir passiv xəbərdən istifadə edilməklə idarəetmə. Məsələn, əqrəbli cihazlarla yanaşı, qeydedici cihazların da göstərişlərinə əsaslanan idarəetmə. Maqnitofona yazılmış musiqi səsləndirilərkən aktiv, saxlanarkən passiv xəbər kimi qəbul edilir. Saxlanılan passiv xəbər (yazı) maqnitofonun yaratdığı enerji axınının köməyi ilə aktiv xəbərə çevrilir.

Beləliklə, birinci növ idarəetmədə xarici yaddaşa ehtiyac duyulmur. İkinci növ idarəetmə isə xarici yaddaşsız mümkün deyil.

İnformasiyanın işlənməsinin kodlaşdırılması sistemləri ilə birbaşa bağlılığı olan əsas anlayışlardan biri də dəyişdirmədir.

Dəyişdirmə. İxtiyari elementlər çoxluğunu nəzərdən keçirərkən anlayışların 2 qrupunu ayırmaq olar:

1) çoxluq elementləri və 2) çoxluq elementləri arasındakı əlaqələr. Qalan anlayışlar bunlardan törəmədir.

Bu baxımdan, xəbər çoxluqları da

1) xəbərlər və 2) xəbərlər arası əlaqələr kimi 2 qrup anlayışla təsvir edilir.

Xəbərlər barədə yuxarıda bəhs edilmişdir. Burada xəbərlərarası əlaqələr izah ediləcək.

Əlaqələrin izahı üçün **xəbərlər assosiasiyası** anlayışından istifadə edilir.

Xəbərlər assosiasiyası dedikdə, idarəetmə prosesində uzununa və ya eninə xəbər çoxluqlarından götürülmüş səliqsiz xəbər cütü nəzərdə tutulur. Bu halda, **dəyişdirmə** dedikdə, elə proses nəzərdə tutulur ki, onun nəticəsində bir assosiasiya daxilində bir xəbərin digər xəbərə çevrilməsi baş verir. Yəni, dəyişdirmə assosiasiya daxilindəki xəbərlərarası əlaqəni təsvir edir.

Məsələn, “*a*-nın *k*-ya hasili *b*-yə bərabərdir” cümləsində formalaşdırılan dəyişdirmə ilə “*b* *a*-dan *k* dəfə böyükdür” cümləsindəki dəyişdirmə eynidir. Dəyişdirmə *T* ilə işarə edilir. Hər bir assosiasiya üçün 2 səliqəli xəbər cütü mövcuddur. Buna görə də onları fərqləndirmək problemi yaranır. Bununla əlaqədar olaraq, *ilkin* və *ikinci* xəbər anlayışları daxil edilir.

İlkin xəbər - dəyişdirməyə məruz qalan, **ikinci xəbər** – dəyişdirmə nəticəsində alınandır. Məsələn, assosiasiyada *a* və *b* xəbərləri varsa, “*b*-də *a*” dəyişdirməsini “*a*-da *b*” dəyişdirməsindən fərqləndirmək lazım gəlir. *T* dəyişdirməsində bu, indekslərin köməyi ilə nəzərə alınır. Bu halda 1-ci indeks ilkin, 2-ci indeks ikinci xəbərə aid olur. Beləliklə, *a*-nın *b*-yə dəyişdirilməsi T_{ab}

kimi, b -nin a -ya dəyişdirilməsi isə T_{ba} kimi göstərilir. Bunu $aT_{ab}b$ və ya $bT_{ba}a$ kimi, yaxud da $T_{ab}a = b$ və ya $T_{ba}b = a$ kimi də yazırlar.

Dəyişdirmədən sonra ikinci xəbərlə yanaşı, ilkin xəbərin də mövcud olub-olmaması və ya hətta ikinci xəbərin ilkin xəbəri qabaqlaması da formal cəhətdən heç bir məna daşımır. Çünki hər bir dəyişdirmə yalnız bir xəbəri bir xəbərə dəyişdirir.

İlkin və ikinci xəbərlərin fərqlənib-fərqlənməməsi baxımından: qeyri-trivial, trivial, tamoxşar, eynimənalı və əks-dəyişdirmə növləri vardır.

Qeyri-trivial dəyişdirmə odur ki, ikinci xəbər ilkin xəbərdən fərqli olur.

Trivial dəyişdirmə zamanı ikinci xəbər ilkin xəbərdən fərqlənmir.

Tamoxşar dəyişdirmədə ilkin və ikinci xəbərlər eyniməzmunludur.

Eynimənalı dəyişdirmədə eyni xəbər həm ilkin, həm də ikinci xəbər kimi ayrıca mövcud olur.

Əks-dəyişdirmə zamanı ikinci xəbər ilkin xəbərə çevrilir.

Əgər a və T_{ab} məlumdursa, $T_{ab}a = b$ tənliyinə əsasən b -ni təyin etmək çətin deyil. a və b -yə görə, dəyişdirməni təyin etmək çox çətinidir. Məsələn, $a = 2$ və $b = 8$ olarsa, bunların arasında aşağıdakı dəyişdirmələr mümkündür:

$$a + 6 = b$$

$$4a = b$$

$$a^3 = b$$

$$3a + 2 = b$$

$$5a - 2 = b$$

...

Göründüyü kimi, dəyişdirmə mürəkkəb anlayışdır. Bununla əlaqədar olaraq, dəyişdirmənin aşağıdakı əsas elementləri təyin edilməlidir:

Əməl – dəyişdirmənin əsaslandığı elementar proseslərdən biri;

Əməl növü - əməlin keyfiyyət xarakteristikası;

Əməl parametri - əməlin kəmiyyət xarakteristikası;

Əməli dəyişdirmə - ilkin xəbər məruz qalan əməllərlə təsvir edilən dəyişdirmə. Məsələn, $a + 6 = b$ əməli dəyişdirmədir. Burada əməlin növü toplama, parametri 6, əməl üstəgəl 6-dır.

Sadə halda əməli dəyişdirmə 1 əmələ əsaslanır. Bu halda əməlin növü və parametri kifayətdir. Əməli dəyişdirmə n əmələ əsaslandığında $2n$ sayda verilən, yəni, n əməl növü və n əməl parametri verilməlidir. Eyni əməl müxtəlif parametrlərlə icra edilə bildiyi kimi, eyni parametr də müxtəlif əməllərdə iştirak edə bilər.

Beləliklə, sadə əməli dəyişdirmə üçün 4 element: ilkin xəbər, əməl növü, əməl parametri və ikinci xəbər məlum olmalıdır. Xəbər və dəyişdirmə bəlli olduqda 4 elementdən 3-ü məlum olur. Buna görə dəyişdirmə tənliyindən 4-cü elementi təyin etmək çətin olmur. Əgər yalnız 2 xəbər verilibsə, dəyişdirməni təyin etmək ona görə mümkün olmur ki, bir tənlikdə 2 məchul olur. Odur ki, 3-cü element (ya əməl növü, ya da əməl parametri) verilməlidir. Əməli dəyişdirmə o halda trivial olur ki, nəticə dəyişmir.

Məsələn sıfırla toplama, 1-ə vurma, 1-in qüvvətə yüksəldilməsi trivial əməli dəyişdirmədir.

Bu baxımdan *əsas dəyişdirmə*, *əks əsas dəyişdirmə*, *əks-əməli dəyişdirmə*, *əks-əməl*, *əks-əməl növü*, *əks-əməl parametri* kimi anlayışların daxil edilməsi vacibdir.

Əsas dəyişdirmə elə əməli dəyişdirmədir ki, onu ixtiyari assosiasiyanın ixtiyari xəbərlər çoxluğundan olan ilkin xəbərə tətbiq etdikdə, həmin assosiasiyanın ikinci xəbərini formalaşdırır. Məsələn,

$$a = 1, b = 3$$

$$c = 2, d = 6$$

$$e = 3, f = 9$$

kimi üç xəbərdən ibarət çoxluqlar üçün əsas dəyişdirmə $3m = n$ əməli dəyişdirməsidir.

Əks əsas dəyişdirmə elə əməli dəyişdirmədir ki, onu ixtiyari assosiasiyanın ixtiyari xəbərlər çoxluğundan olan ikinci xəbərə tətbiq etdikdə, həmin assosiasiyanın ilkin xəbərini formalaşdırır. Bizim misalda əks əsas dəyişdirmə $\frac{n}{3} = m$ əməli dəyişdirməsidir.

Əks-əməli dəyişdirmə əsas əməli dəyişdirmədəki əməllərə əks olan əməli dəyişdirmədir.

Əks-əməl birəməlli dəyişdirmədəki əmələ əks əməldir.

Əks-əməl növü elə əməl növüdür ki, onu tətbiq etdikdə düz əmələ əks olan əməl icra edilir.

Əks-əməl parametri elə parametrdir ki, onu tətbiq etdikdə əks-əməl icra edilir.

Əgər müəyyən əməli dəyişdirmədən sonra hansı ikinci xəbərin alınacağı əvvəlcədən bilinirsə, bu o deməkdir ki, həmin ilkin və ikinci xəbərlər assosiasiyalanmış xəbərlərdir. Bu baxımdan, *assosiasiyalanmış və əks-assosiasiyalanmış dəyişdirmə* anlayışları fərqləndirilir. Assosiasiyalanmış dəyişdirmə zamanı nəticə əvvəlcədən məlum olur. Əks-assosiasiyalanmış dəyişdirmədə ikinci xəbər ilkin xəbəri təyin edir. Assosiasiyalanmış dəyişdirmə məntiqinə görə, əgər ilkin xəbər p -dirsə, onda ikinci xəbər q -dür, çünki p olanda q olmuşdu. Yəni əgər a dəyişdirilər-

kən b alınmışdısa, a yenə də həmin dəyişdirməyə məruz qalanda yenə də b alınacaqdır. Göründüyü kimi, assosiasiyalanmış dəyişdirmə əməli dəyişdirmə nəticəsində alınmış hazır dəyişdirmədir. Bizim misalda $a = 2$ olduqda $b = 8$ -dir assosiasiyası mövcuddur. Yəni bütün variantlarda $a = 2$ $b = 8$ -lə assosiasiyalanmışdır. Əks-assosiasiyalanmış dəyişdirmədə “əgər ikinci xəbər $b = 8$ -dirsə, onda ilkin xəbər $a = 2$ -dir” hökmü reallaşır. Yəni əməli dəyişdirmədə “bərabərdir”, assosiasiyalanmış dəyişdirmədə isə “müvafiqdir” işlətmək lazımdır.

Əgər bir xəbər eyni zamanda həm özündən əvvəlki, həm də özündən sonrakı xəbərə aiddirsə, bu, **dəyişdirmə zənciri** adlanır.

Əgər dəyişdirmə zəncirində ikinci xəbər özündən əvvəlki xəbərin dəyişdirilməsinin nəticəsində alınmışsa, onda bu, **tamamlayıcı dəyişdirmədir**. Məsələn, əgər a , b , c , d xəbərləri üzərində $aT_{ab}b$, $bT_{bc}c$, $cT_{cd}d$ dəyişdirmələri baş veribsə, onda $aT_{ab}T_{bc}c$ ilk iki xəbər üçün **tamamlayıcı dəyişdirmədir**. Bütün xəbərlər üçün **tamamlayıcı dəyişdirmə** $aT_{ab}T_{bc}T_{cd}d$ kimi olacaqdır.

Dəyişdirmə anlayışı münasibət anlayışından fərqlidir. Belə ki, münasibətlər nəzəriyyəsində “əgər A B -nin qohumudursa və B C -nin qohumudursa, onda A ilə C qohumdur” hökmünü çıxarmağa imkan verən tranzitiv münasibət mövcuddur. Halbuki dəyişdirmə baxımından, əgər A B -nin atası, C isə B -nin anasıdırsa, onda A ilə C qohum olmaya da bilər.

İnformasiyanın işlənməsinin kodlaşdırılması sistemlərinin mərkəzi anlayışlarından biri koddur.

Kod –assosiasiyada uzununa baş verən dəyişdirmədir. Odur ki, yuxarıda təyin etdiyimiz dəyişdirmə anlayışlarına analogi olaraq: **kod assosiasiyası**, **kod**, **qeyri-trivial kod**, **trivial kod**, **tamoxşar kod**, **eyniqiymətlilik kod**, **kodun əks kodu**, **əməli**

kod, əks-əməli kod, əsas kod, əks əsas kod, assosiasiyalanmış kod, kod zənciri və tamamlayıcı kod anlayışlarını təyin etmək lazım gəlir.

Kod assosiasiyası dedikdə, uzununa xəbərlər çoxluğundakı xəbərlər assosiasiyası nəzərdə tutulur. Məsələn, idarəetmə zəncirindəki kod zəncirinə aid şəkildə (bax: *kod zənciri*) aşağıdakı kod assosiasiyalarını göstərmək olar:

$$\begin{array}{lll} x_1 - y_1 & y_1 - z_1 & x_1 - z_1 \\ x_2 - y_2 & y_2 - z_2 & x_2 - z_2 \\ x_3 - y_3 & y_3 - z_3 & x_3 - z_3 \end{array}$$

Kod dedikdə, kod assosiasiyasında bir xəbərin digər xəbərə dəyişdirilməsi başa düşülür. Kod K ilə işarə edilir. Beləliklə, yuxarıda baxdığımız kodlar: $K_{1,xy}, K_{1,yz}, K_{2,xy}, K_{2,yz}$, və s. kimi təsvir edilir.

Qeyri-trivial kod - qeyri-trivial dəyişdirmənin, *trivial kod* – trivial dəyişdirmənin, *tamoxşar kod* – tamoxşar dəyişdirmənin, *eynimənalı kod*¹ – eynimənalı dəyişdirmənin kodudur.

Kodun əks kodu o koddur ki, onu ikinci xəbərə tətbiq etdikdə ilkin xəbər alınır. Məsələn, xəritədə ərazi axtarışı həmin ərazinin xəritəyə götürülməsi kodunun əks kodudur. Azərbaycanca-Rusca lüğətdəki sözlərdən ibarət kodlar çoxluğu Rusca-Azərbaycanca lüğətdəki sözlərdən ibarət kodlar çoxluğunun əks kodlarıdır.

İkinci xəbərin dəyişdirmə nəticəsi olub-olmaması formal cəhətdən elə bir əhəmiyyət daşımasa da, təcrübədə ikinci xəbərin alınması prosesinin qabardılması xeyli vacibdir ki, buna da **kodlaşdırma** deyilir. Analoji dəyişdirmə nəticələri kimi, *əməli kod*,

¹ Məsələn, məktubun özünün ünvanı çatması tamoxşar kod, məktubun nüsxəsinin ünvanı çatması isə eynimənalı koddur.

əks-əməli kod, əsas kod, əks əsas kod, assosiasiyalanmış kod, kod zənciri, tamamlayıcı kod anlayışları da vacibdir.

Əməli kod - əməli dəyişdirmə kodudur.

Əks-əməli kod – verilmiş əməli koda əks olan əməli dəyişdirmənin kodudur.

Əməli kodların əhəmiyyətini ölçmə üzrə müntəzəm səhvlər timsalında nəzərdən keçirək. Fərz edək ki, elektrik gərginliyini ölçərkən aşağıdakı məlumatlar alınmışdır:

Ölçülmüş gərginlik, volt (orijinal)	Səhvlərin ölçməyə təsiri, volt (əməli kod)	Voltmetrin göstərişi, volt (aralıq xəbər)
9,7	+(+0,3)	10,0
19,9	+(+0,1)	20,0
30,1	+(-0,1)	30,0
40,2	+(-0,2)	40,0
50,3	+(-0,3)	50,0

Orijinalları və aralıq xəbərləri bilməklə və toplama kod əməlini verməklə əməli kod üçün əməl parametrini, yəni, ölçmə səhvlərini təyin etmək olar. Bu kodu aralıq xəbərlərə tətbiq etməklə, obrazları, yəni ölçmə nəticələrini təyin etmək olar:

Voltmetrin göstərişi, volt (aralıq xəbər)	Düzəlişlərin edilməsi, volt (əks-əməli kod)	Ölçmələrin nəticələri, volt (obraz)
10,0	+(+0,3)	9,7
20,0	+(+0,1)	19,9
30,0	+(-0,1)	30,1
40,0	+(-0,2)	40,2
50,0	+(-0,3)	50,3

Əməli koda nümunə olaraq, sözə hərfin əlavə edilməsi və silinməsi və ya şəkilçi artırılması misal gətirilə bilər. Bu halda

hərfin əlavə edilməsi və silinməsi əməl növü, şəkilçi artırılması isə əməl parametri kimi çıxış edir.

Əsas kod elə əməli koddur ki, ilkin xəbəri bir, ikinci xəbəri isə başqa eninə çoxluğa aid olan bütün assosiasiyalar üçün ümumidir. Bu, aşağıdakı düsturla ifadə edilir: $K_{xy}x = y$. Burada: K_{xy} əsas koddur.

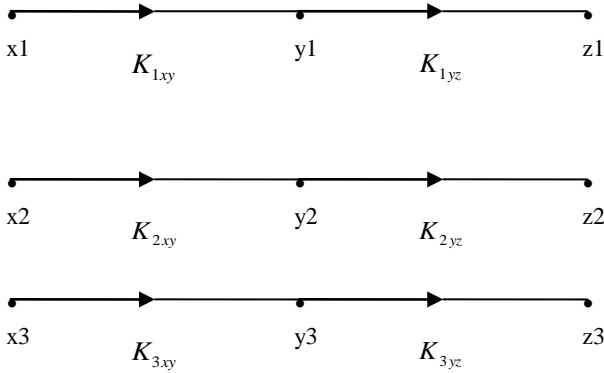
Əks əsas kod verilmiş əsas koda əks olan əsas dəyişdirmədir. Bu isə aşağıdakı kimi təsvir edilir: $K_{yx}y = x$. Burada: K_{yx} əks əsas koddur.

Assosiasiyalanmış kod assosiasiyalanmış dəyişdirmədir. Buna misal olaraq Morze əlifbası ilə ötürülən teleqram mətnini göstərmək olar ki, bu əlifbada da assosiasiyalanmış kodlar: a .-; b -...; c -.-.; d -.. və s.

Assosiasiyalanmış koda: ikidilli lüğətlər, telefon sorğu kitabçaları və s. misal göstərilə bilər. Assosiasiyalanmış kod dəyişməyən və ya az dəyişən predmet sahələrində tətbiq edilərkən daha səmərəli olur. Məsələn, ünvanlar üzrə telefon nömrələrinin dəyişilməsi halları çoxaldıqca, mövcud olan telefon sorğu kitabçaları əhəmiyyətini itirir.

Əsas kodu assosiasiyalanmış koda və əksinə çevirmək mümkündür. Əsas kod mürəkkəb olduqca onu assosiasiyalanmış koda çevirmək sərfəlidir. Assosiasiyalanmış kodların sayı çox olduqda isə əsas kod daha faydalıdır. Belə ki, məsələn, hər dəfə loqarifm həll etməkdənsə, loqarifm cədvəlindən istifadə etmək daha faydalıdır. İrihəcmli lüğətlərdən asan istifadə etmək üçün sözləri əlifba sırası ilə düzmək səmərəlidir.

Kod zənciri dedikdə, uzununa xəbər çoxluqlarındakı dəyişdirmələr zənciri nəzərdə tutulur.



Bu şəkildə 3 kod zənciri vardır:

1-ci kod zənciri: $x_1 - y_1 - z_1$

2-ci kod zənciri: $x_2 - y_2 - z_2$

3-cü kod zənciri: $x_3 - y_3 - z_3$

y_1 xəbəri $x_1 - y_1$ assosiasiyasında ikinci xəbər, $y_1 - z_1$ assosiasiyasında isə ilkin xəbər kimi iştirak etdiyindən, $x_1 - y_1 - z_1$ kod zənciri hesab edilir.

Tamamlayıcı kod dedikdə, kod zəncirində ardıcıl kodlar dəyişdirməsi nəzərdə tutulur. Məsələn, $x_1 - y_1 - z_1$ kod zəncirində $x_1 K_{1,xy} y_1, y_1 K_{1,yz} z_1$ kodlarına görə $x_1 K_{1,xy} K_{1,yz} z_1$ tamamlayıcı koddur.

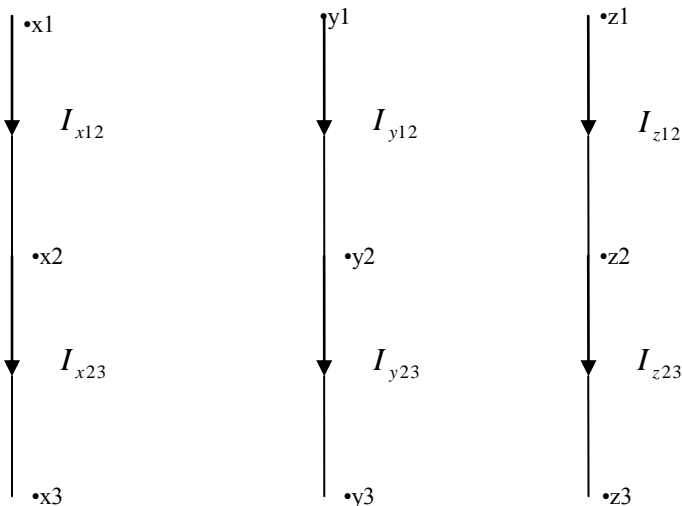
İnformasiyanın işlənməsinin kodlaşdırılması sistemləri ilə bağlı mühüm anlayışlardan biri də informasiyadır.

İnformasiya.

Burada dəyişdirmə və kodlara yuxarıda verilən təriflərə analogi olaraq: **informasiya assosiasiyası, informasiya, qeyri-trivial informasiya, trivial informasiya, tamoxşar informasiya, eynimənalı informasiya, əks-informasiya, informasiya zənciri, tamamlayıcı informasiya, əməli informasiya, əks-əməli infor-**

masiya, əsas informasiya, əks əsas informasiya və assosiasiyalanmış informasiya anlayışları ön plana çəkilir.

İnformasiya assosiasiyası dedikdə, eninə xəbərlər çoxluğundan olan xəbərlər assosiasiyası nəzərdə tutulur. Məsələn, idarəetmə zəncirindəki informasiya zənciri aşağıdakı kimi təsvir edilə bilər:



Bu şəkildə aşağıdakı informasiya assosiasiyaları vardır:

$$\begin{aligned} x_1 - x_2, & \quad x_2 - x_3, & \quad x_1 - x_3, \\ y_1 - y_2, & \quad y_2 - y_3, & \quad y_1 - y_3, \\ z_1 - z_2, & \quad z_2 - z_3, & \quad z_1 - z_3. \end{aligned}$$

İnformasiya dedikdə, informasiya assosiasiyası daxilində bir xəbərin digər xəbərə dəyişdirilməsi başa düşülür. İnformasiya I ilə işarə edilir. Bu mənada, informasiyaya, informasiya assosiasiyasının məzmunu kimi baxmaq olar.

Qeyri-trivial, trivial, tamoxşar və eynimənalı informasiyaların hər biri eyniadlı dəyişdirməyə, (yəni, trivial informasiya trivial dəyişdirməyə və s.) uyğun informasiyadır.

Əgər dəyişdirmədən sonra vəziyyət dəyişmirsə, trivial, dəyişirsə qeyri-trivial informasiya alınır. Yəni trivial informasiya odur ki, ikinci xəbəri ilkin xəbərdən fərqləndirmək mümkün olmur. Fərqləndirmə çətinliyi həm tamoxşar, həm də eynimənalı xəbərlərin alındığı halda meydana çıxır.

İnformasiyaya əks-informasiya ikinci xəbəri ilkin xəbərə çevirən dəyişdirmə nəticəsində alınan informasiyadır.

İnformasiya zənciri dedikdə, eninə xəbərlər çoxluğundan yaranan zəncir nəzərdə tutulur.

x üçün informasiya zənciri $x_1 - x_2 - x_3$, y üçün $y_1 - y_2 - y_3$, z üçün $z_1 - z_2 - z_3$ kimidir. Çünki $x_1 - x_2$ assosiasiyasındakı ikinci xəbər (x_2) eyni zamanda $x_2 - x_3$ assosiasiyasında ilkin xəbərdir.

İnformasiya zəncirindəki xəbərlər ardıcılığı kod zəncirindəki ardıcılıqla eyni şeydir.

Tamamlayıcı informasiya dedikdə, informasiya zəncirindəki ardıcıl dəyişdirmələrin sonuncusunda alınan informasiya nəzərdə tutulur. Məsələn, $x_1 - x_2 - x_3$ informasiya zəncirində tamamlayıcı informasiya $x_1 I_{x_1 2} I_{x_2 3} x_3$ kimi olacaqdır.

Əməli informasiya - əməli dəyişdirmə nəticəsində alınan informasiyadır.

Əks-əməli informasiya – verilmiş əməli informasiyaya əks olan dəyişdirmə nəticəsində alınan informasiyadır. Məsələn, Yer meridianının ölçülməsi nəticəsində alınan 40 000 000 metr *əməli informasiyadırsa*, 1 metrle Yer meridianının müqayisəsi nəticəsində alınmış kəsr ədədi (1/40 000 000) *əks-əməli informasiyadır*.

Əsas informasiya — informasiya zəncirinin bütün assosiasiyaları üçün eyni olan əməli informasiyadır.

Əks əsas informasiya - verilmiş əsas informasiyaya əks əsas dəyişdirmədir.

Məsələn, əgər hər hansı informasiya zəncirində müxtəlif əməli informasiyalar ($I_{x_1x_2}x_1 = x_2, I_{x_2x_3}x_2 = x_3, I_{x_3x_4}x_3 = x_4, \dots$) arasında əsas informasiyanı təyin etmək mümkündürsə, ($I_x x_1 = x_2, I_x x_2 = x_3, I_x x_3 = x_4, \dots$), onda bu əsas informasiyaları daha yığcam şəkildə ifadə etmək olar: $I_x x_n = x_{n+1}$. Burada I_x əsas informasiyadır. Əks əsas informasiya da bu cür qurulur. Çünki eninə çoxluqlar ixtiyari qaydada nömrələnir.

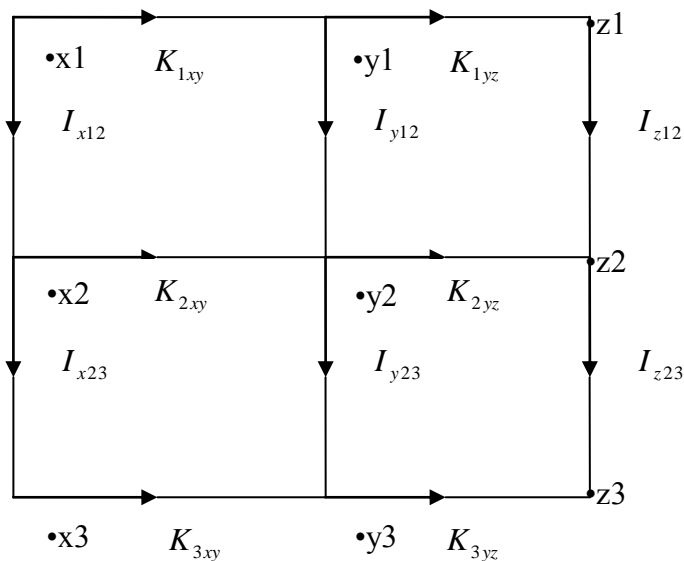
Tamamlayıcı informasiya belə yazılır: $I_x^{n-1} x_1 = x_n$.

Assosiasiyalanmış informasiya assosiasiyalanmış dəyişdirməyə müvafiq informasiyadır. Məsələn, ədədi kvadratlar cədvəli assosiasiyalanmış informasiya ilə doldurulur:

Orijinal	Obraz
1	1
2	4
3	9
4	16
5	25
6	36

Bütün bu sadalanan əsas anlayışlara söykənən ***informasiyalaşdırma*** prosesinin ən ümumi mənzərəsi aşağıdakı kimidir.

Yuxarıda deyilənlər göstərir ki, xəbər həm kod zəncirləri çoxluğu kimi, həm də informasiya zəncirləri çoxluğu kimi təsəvvür edilə bilər. Bu, əslində o deməkdir ki, idarəetmə zənciri, mahiyyətə, kod və informasiya zəncirləri şəbəkəsidir:



Göründüyü kimi, əgər söhbət yalnız dəyişdirmədən gedirsə, onda kodla informasiya arasında heç bir fərq görünür. Çünki kodla informasiya bir vəhdət təşkil edir. Bunların biri digərini tamamlayır. Heç biri ayrılıqda mövcud ola bilmir. Lakin nəzərə alındıqda ki, xəbər müəyyən idarəetmə zənciri ilə ötürülür, onda bu fərq üzə çıxır. Çünki idarəetmə zəncirində uzununa dəyişdirmə (kod), eninə dəyişdirmədən (informasiyadan) köklü surətdə fərqlənir. Lakin bu yanaşma aydın göstərir ki, xəbər idarəetmə zəncirindəki hərəkəti² kod və informasiya zəncirləri arasındakı ardıcıl ötürmələr şəklindədir. Yəni, xəbər növü ilə gah kod zənciri halqasında, gah da informasiya zənciri halqasında olur. Deməli, informasiyalaşdırma, yaxud xəbər yayımı və ya

² Ağ qoçla qara qoçun Məlikməmmədi bir-birinə ötürərək aparmasını yada sal!

ötürülüşü **spiralvaridir**. Bu isə bütün hərəkət növlərinin baş qanunudur.

İdarəetmə prosesində təsir mənbəyi təsir qəbuledicisinə idarəetmə zəncirində baş verən uzununa dəyişdirmələr vasitəsilə təsir edir. Lakin hər bir uzununa dəyişdirmə idarəetmə zəncirindəki bir eninə dəyişdirmənin nəticəsi kimi meydana çıxır. Sadə dillə desək, informasiya yoxdursa, koda ehtiyac yoxdur, kod yoxdursa, informasiya özündə idealdir, istifadəyə, o cümlədən, ötürməyə hazır deyildir.

Bu baxımdan, *informasiyalaşdırma* dedikdə, orijinallar zəncirindəki informasiyanın obrazlar zəncirindəki informasiyaya çevrilməsi nəzərdə tutulur. Məsələn, ölçülən kəmiyyətin dəyişilməsinin ölçü cihazının göstərişinin dəyişməsinə çevrilməsi informasiyalaşdırma hesab edilir. Lakin informasiyalaşdırma zamanı informasiya orijinallar zəncirindən obrazlar zəncirinə keçərkən hökmən aralıq informasiya mərhələsindən keçir.

Əgər kod zənciri şaxələnersə və ya qapanmazsa, informasiyalaşdırmanın *simulyativ* (şişirdici), *dissimulyativ* (azaldıcı) və *konfuzion* (həm şişirdici, həm də azaldıcı) kimi üç növü meydana çıxa bilər.

Simulyativ informasiyalaşdırma dedikdə, elə informasiyalaşdırma nəzərdə tutulur ki, qeyri-trivial dəyişdirmə nəticəsində alınmış obrazların sayı orijinalların sayından çox olur. Yəni, mənbədən ötürülən xəbər qəbulediciyə şişirdilmiş şəkildə çatır.

Dissimulyativ informasiyalaşdırma zamanı orijinalların sayı obrazların sayından çox olur. Bu halda, mənbədə hasil edilib kanala daxil edilən xəbərin bəzi elementləri ünvana çatmır.

Konfuzion informasiyalaşdırma dedikdə, simulyativ və dissimulyativ informasiyalardan əmələ gələn informasiya nəzərdə tutulur.

Bütün bu deyilənləri yekunlaşdırarkən qeyd etmək lazımdır ki, kod zəncirindəki dəyişdirmələr maddi-enerji mahiyyətli, infor-

masiya zəncirindəki dəyişdirmələr isə struktur mahiyyətlidir. Maddi-enerji mahiyyətli proseslər enerji sərfi ilə bağlı olur. Halbuki, struktur dəyişdirmələri fiziki deyil, dalğa kimi, həndəsi mahiyyətlidir. Dalğa, su səthinin eninə dəyişməsi olduğundan, onun sahili lərzəyə salmaq gücü olduğu kimi, idarəetmə zəncirindəki eninə dəyişdirmə mahiyyəti daşıyan informasiyanın da ünvanı dəyişdirmək gücü vardır. Lakin informasiyanın bu dəyişdirici, təsiredici gücü yalnız o halda reallaşır ki, o koda yüklənmiş olsun. Çünki, dalğa suya yüklənməzsə sahili lərzəyə sala bilməz.

İdarəedici sistemin vəzifəsi idarə edilən sistemdə lazımı dəyişiklik törətməkdən ibarət olduğundan, bu vəzifənin icrası üçün düzgün informasiyalaşdırma tələb olunur ki, buna da **transinformasiyalaşdırma** deyilir. Yəni, transinformasiyalaşdırmada $I_{z12} = I_{x12}$ şərti ödənilir. Bu halda **trivial transinformasiyalaşdırma** trivial kodların köməyi ilə həyata keçirilir. Trivial kodlar tamoxşar və eynimənalı kimi iki növ olduğundan, analogi transinformasiyalaşdırmaların reallaşdırılması mümkün olur. Analog transinformasiyalaşdırma birəməlli transinformasiyalaşdırma kodlarının köməyi ilə reallaşdırılır. Tamamlayıcı kodlar trivialdırsa, bu, kompensasiyaedici transinformasiyalaşdırma adlanır. Tamamlayıcı kodların eyniliyinə əsasən müqayisəli transinformasiyalaşdırma reallaşdırılır. Qeyri-trivial kodların fərqliliyi əsasında isə qadağanedici transinformasiyalaşdırma həyata keçirilir. Məsələn, əgər xəstəliyin simptomları varsa, deməli, pasiyent xəstədir, əgər simptomlar yoxdursa, pasiyent sağlamdır məntiqinə görə, sonuncu qadağanedici transinformasiyalaşdırmadır.

Müxtəlif səbəblər üzündən bir sıra hallarda transinformasiyalaşdırma mümkün olmur. Bu halda, psevdoinformasiyalaşdırma (təxəllüsün informasiyalaşdırılması) baş verir. Psevdoinformasiyalaşdırma zamanı müəyyən xəbərlər bir neçə kod zənciri üçün ümumi olur. Psevdoinformasiyalaşdırmanın nəticəsində *psevdoinformasiya* alınır. Psevdoinformasiyanın simulyativ, dissimulya-

tiv və konfuzion növləri vardır. Konfuzion psevdoinformasiyalaşdırma birqat və ikiqat olur. Məsələn, eyni simptomlar bir neçə xəstəlik üçün eyni ola bilər.

Bəzi kod zəncirləri yarımqıq olduqda dezinformasiyalaşdırma baş verir. Bunun nəticəsində dezinformasiya alınır. Bunun da simulyativ, dissimulyativ və konfuzion növləri vardır. Simulyativ dezinformasiya o zaman alınır ki, bəzi kod zəncirlərinin orijinalı olmur. Dissimulyativ dezinformasiyada isə, əksinə, bəzi kod zəncirləri obraza malik olmur. Konfuzion dezinformasiya o zaman alınır ki, bəzi kod zəncirləri orijinallara, digər kod zəncirləri isə obrazlara malik olmasın.

Heç bir kod zəncirinə aid olmayan informasiya parainformasiya adlanır. Bu, parainformasiyalaşdırma nəticəsində meydana çıxır.

Heç bir kod zəncirinə aid olmayan, lakin informasiya zəncirinə aid olan xəbər paraxəbər adlanır. Orijinallar zəncirindəki paraxəbərə paraorijinal deyilir. Obrazlar zəncirindəki paraxəbər paraobrazdır. Parainformasiya həm də xəbərlərdən biri paraxəbər olan assosiasiyadakı informasiyadır. Parainformasiyalaşdırma odur ki, onda parainformasiya iştirak edir. Parainformasiyalaşdırma ayrıca mövcud olmur. O, informasiyalaşdırmaya paralel prosesdir. Parainformasiyalaşdırma transinformasiyalaşdırmada da müəyyən rol oynaya bilər. Paratransinformasiyalaşdırma odur ki, orijinallardakı parainformasiya ilə obrazlardakı parainformasiya eynidir. Paratransinformasiya paratransinformasiyalaşdırma nəticəsində obraz və paraobraz assosiasiyasında olan informasiyadır. Məsələn, elektrik stansiyasından xəttə gərginlik verilən kimi həm stansiyadakı, həm də transformator yarımstansiyasındakı kontrol lampaların eyni zamanda işıqlanması paratransinformasiyadır ki, əsas ötürməni (gərginliyi) müşayiət edir. Söhbət zamanı mimika elementlərinin iştirakı da paratransinformasiyalaşdırmaya misaldır. Əgər obrazlardakı parainformasiya orijinallardakı parainfor-

masiyadan fərqlənsə, onda bu, paradezinformasiyalaşdırma hesab olunur. Bu prosesdə iştirak edən informasiya paradezinformasiya adlanır. Bunun da simulyativ, dissimulyativ və konfuzion növləri vardır.

Müxtəlif idarəetmə konturları arasında baş verən informasiyalaşdırma metainformasiyalaşdırma adlanır. İdarəetmə üçün ayrı-ayrı konturlararası əlaqələrdə daşınan informasiyadan istifadə edən konturlar çoxluğuna metaidarəetmə konturu deyilir. Konturlararası eninə xəbər metaxəbərdir. Bir konturun obrazlar çoxluğundan alınıb başqa konturda orijinalar çoxluğu kimi istifadə edilən metaxəbər metaorijinal adlanır. Bir konturdakı metaorijinala başqa konturdakı metaorijinal uzununa assosiasiya yaradırsa, bunun nəticəsi metaobrazdır. Metaorijinalın metaobrazla çevrilməsi metakod adlanır. Həm metakodun, həm də metainformasiyanın trivial və qeyri-trivial növləri vardır. Metainformasiyalaşdırmanın da simulyativ, dissimulyativ və konfuzion növləri mövcuddur.

Beləliklə, gerçək idarəetmə metatransinformasiyalaşdırma, metapsevdoinformasiyalaşdırma, metadezinformasiyalaşdırma və metaparainformasiyalaşdırma proseslərinin çulğalaşdığı son dərəcə mürəkkəb seçmə prosesidir.

İdarəetmə baxımından, həmçinin, **yararlı informasiya, artıq informasiya, parazit informasiya, təsviredici informasiya, ilkin informasiya, ilkin xəbər, identifikasiyaedici informasiya** kimi informasiya növləri də çox vacibdir.

İdarəetmə prosesi üçün verilmiş olan verilmiş informasiya zəncirindəki mümkün minimal informasiya **yararlı informasiya** hesab edilir.

Verilmiş informasiya zəncirinin digər informasiyalarından alınmış informasiya **artıq informasiya** sayılır.

Verilmiş idarəetmə prosesindən kənarında yaranan informasiya **parazit informasiyadır**.

Artıq informasiyaya: *təkrar informasiya, əks-informasiya, təsadüfi informasiya, verilmiş idarəetmə prosesi üçün lazım olan əməli informasiya ilə yanaşı meydana çıxan tamamlayıcı əməli informasiya, həmçinin, simulyativ psevdoinformasiya* aiddir.

Parazit informasiyaya: *simulyativ dezinformasiya və simulyativ paradezinformasiya* aiddir.

Yararlı informasiya: *təsviredici və identifikasiyaedici* olmaqla iki növə bölünür.

Təsviredici informasiya informasiya zəncirindəki müəyyən xəbəri təsvir etmək üçün lazım olan minimal mümkün informasiyadır.

İlkin informasiya – informasiya zəncirindəki ilk xəbəri təyin etmək üçün lazım olan təsviredici informasiyadır.

İlkin xəbər o xəbərdir ki, onu dəyişdirib informasiya zəncirinin birinci xəbəri etmək lazımdır.

İlkin xəbəri almaq üçün verilmiş idarəetmə konturuna nəzərən kənar dəyişdirici təsir olmalıdır. Məsələn, yüksəkliyi təyin etmək üçün dəniz səviyyəsi kənar dəyişdirici təsir kimi seçilir. Yəni, kənar dəyişdirici təsir ilkin xəbərə nəzərən ilkin informasiyadır.

İdentifikasiyaedici informasiya dedikdə, informasiya zəncirindəki hər bir ayrıca xəbəri təsvir etmək üçün lazım olan mümkün minimal informasiya nəzərdə tutulur.

Bir xəbəri digərindən ayırmaq üçün müəyyən meyardan istifadə etmək lazım gəlir. Meyar kimi zaman, məkan, qayda və s. götürülə bilər. Zaman meyarı xəbərin başvermə anını təyin edir. Məkan meyarı xəbərin baş verdiyi yeri təyin edir. Qayda meyarı isə xəbərin nömrəsini təyin edir.

Təsviredici informasiyanın miqdarını bilməklə identifikasiyaedici informasiyanın miqdarını təyin etmək mümkündür və əksinə.

Bölmə 2. İnformasiya və kodlaşdırma nəzəriyyəsi

2.1. İnformasiyanın kəmiyyətə ölçülməsinin nəzəri əsasları

İnformasiya anlayışı və onun süni və təbii sistemlərdə oynadığı rol birdən-birə dərk edilməmişdir. Bu, fizika, biologiya, fəlsəfə, rəhbərlik nəzəriyyəsi və s. kimi elm sahələrində əldə edilmiş biliklərin nəticəsi olaraq formalaşmışdır.

1877-ci ildə L. Bolsman termodinamik entropiyanı “çatışmayan informasiya” kimi xarakterizə edərkən, onu heç kim başa düşmədi.

1948-ci ildə K.Şennon informasiya nəzəriyyəsini yaradarkən, onun entropiya üçün verdiyi $H = -n \log p$ düstur ilə Bolsmanın $H_i = k \log \omega$ düsturunun oxşarlığı qızğın mübahisələrə səbəb oldu.

L.Brillyuen “neqentropiya prinsipi” ilə bütün mübahisələrə son qoydu.

Həmin problemə fəlsəfi idrak nəzəriyyəsi tamamilə başqa tərəfdən gəlib çıxdı. Fəlsəfə informasiyanı materiyanın təməl xassəsi elan etdi.

Fizika üçün enerji anlayışı nədirsə, kibernetika və bütövlükdə sistemologiya üçün də informasiya anlayışı eynidir. Təsədüfi deyildir ki, A.N.Kolmoqorov: “kibernetika — informasiyanı qəbul edə, saxlaya, işləyə və idarəetmə və tənzimləmə üçün istifadə edə bilən ixtiyari təbiətli sistemləri öyrənən elmdir”- deyir.

Kibernetika informasiyanın kəmiyyətə ölçülməsinin mümkünlüyünə söykənir.

Bəs informasiya nədir? Məlum mənbələrə görə, informasiya (informacio) latın sözüdür, izah etmək mənasına gəlir. Lakin bizim fikrimizcə, informasiya — in (mövcud olan) +

for/fər (kişi) + ma (qadın) + si/su (məkan) + ya (için açılması), yəni “mövcud olan kişi və qadının məkanda öz içini açması, izah etməsi, xəbərləşməsi, söhbət etməsi” mənasına gələn çox qədim bir cümlədir.

İzah etmək, ilk növbədə, insana məxsus keyfiyyət kimi qavranıldığından, informasiya prosesləri uzun illər boyu yalnız insan psixikası ilə əlaqədar proses kimi dərk edilmişdir. Bu, bir də onunla bağlıdır ki, “informasiya” sözü “İnformasiya nəzəriyyəsi” meydana gəlməzdən çox-çox əvvəl işlədilmiş və mənası məlum sayılan söz olmuşdur. Həm də heç kim fikir verməmişdir ki, bu sözü harada işlətmək olar, harada olmaz. Elə ki, kibernetika meydana çıxdı, insanla-insan, insanla-heyvan, insanla-maşın, heyvanla-heyvan, maşınla-maşın... arasında qeyri-maddi əlaqəni müəyyənləşdirmək lazım gəldi, o zaman “informasiya” anlayışı olduqca mürəkkəbləşdi və onu ümumi şəkildə müəyyən etmək mümkün olmadı. Nəticədə, bu işlə məşğul olanların hərəsi informasiyaya bir tərif verməyə başladı. Beləliklə, informasiyanın çoxsaylı tərifləri yarandı. Lakin vahid tərifin olmaması “informasiyanın miqdarı”nı ölçməyə, onu yadda saxlamağa, ötürməyə, emal etməyə qətiyyətən mane olmur.

Aşağıda göstəriləyi kimi, informasiyanın kəmiyyət nəzəriyyəsinin əsasında K.Şennonun

$$H = - \sum_{i=1}^m P_i \cdot \log P_i$$

düsturu durur. Bu düstura görə H yalnız o zaman sıfıra bərabər olur ki, P_i ehtimallarından biri vahidə bərabər olsun. Bu isə müəyyənlik, yəqinlik vəziyyətidir. Beləliklə, hər biri müəyyən ehtimalla baş verə biləcək hadisələr çoxluğundan hər hansı birinin artıq baş verdiyi təsdiq olunaraq, qeyri-müəyyənliyi sıfıra endirirsə, onda K.Şennonun görə, H kəmiyyəti “seçmə imkanının

məntiqə uyğun kəmiyyət ölçüsü və ya informasiyanın miqdarının ölçüsüdür”.

Göründüyü kimi, informasiyanın miqdarı elə bir üsulla müəyyən edilir ki, “informasiya nədir?” və “informasiyanın miqdarı nədir?” kimi suallara heç yer də qoymur.

Elmi baxımdan bu cür yanaşma şəksizdir. Lakin “informasiyanın miqdarı” termini o qədər də aydın deyildir. Çünki, mücərrəd də olsa, əgər informasiyanın miqdarı məlumdursa, onda informasiya da məlum olmalıdır. Halbuki, informasiya nəzəriyyəsi “informasiya nədir?” sualına cavab vermir və onu heç qarşısına məqsəd kimi də qoymur. Odur ki, K.Şennon yaratdığı nəzəriyyəni ilk variantda “riyazi rabitə nəzəriyyəsi” adlandırmışdır. Yalnız sonradan bu nəzəriyyə “İnformasiya nəzəriyyəsi” kimi tanınmışdır. Bu isə onunla bağlı olmuşdur ki, K.Şennondan əvvəl R.Xartli təklif etdiyi riyazi anlayışı informasiya adlandırmışdı.

N.Viner “Kibernetika” əsərində yazır ki, “...ödü zəhər hazırladığı kimi, əzələnin enerji hasil etdiyi kimi, beyin mexaniki yolla fikir hasil etmir. İnformasiya elə informasiyadır, o nə materiyadır, nə də enerji”. Lakin sonra N.Viner “Kibernetika və cəmiyyət” adlı kitabında göstərir ki, “informasiya xarici aləmə öyrəşmə və öz təsəvvürümüzü ona uyğunlaşdırma prosesində həmin mühitdən əxz etdiyimiz məzmunun ifadəsidir”. Kufinyala görə, “psixik iz buraxan istənilən fiziki təsir kibernetikada informasiya adlanır”. K.Şennon yazır: “rabitənin əsas vəzifəsi ondan ibarətdir ki, bir yerdə hasil edilən və göndərilən xəbəri başqa yerdə dəqiq və ya təxmini yenidən təkrar etmək mümkün olsun. Çox hallarda xəbərlər müəyyən fiziki və ya düşünülmüş mənə kəsb edir. Lakin rabitənin bu cür semantik cəhətlərinin məsələnin texniki tərəfi ilə heç bir əlaqəsi yoxdur”. Göründüyü kimi, K.Şennonun meylə informasiyanı məzmundan sərfnəzər

etməkdir. Bu nəzəriyyə informasiyanın miqdarını “mümkün hallar ansamblı”na görə təyin edir:

$$\alpha = \left(A_1, A_2, \dots, A_m \right) \quad (1)$$

Burada: A_1, A_2, \dots, A_m -bir-birini qarşılıqlı inkar edən hallar, $P(A_1), P(A_2), \dots, P(A_m)$ -həmin halların baş vermə ehtimallarıdır.

“Mümkün hallar ansamblı”nın əsas xassəsi ehtimalların cəminin 1-ə bərabər olmasıdır. Yə”ni:

$$P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_m) = \sum_{i=1}^m P(A_i) = 1 \quad (2)$$

Bu, o deməkdir ki, mümkün hallardan biri hökmən baş verməlidir. Çünki, əks halda xəbər ötürülməsi prosesi baş verməz və informasiyanın miqdarını təyin etmək məsələsi mənasızlaşar.

Beləliklə, informasiya – xəbərin məna yüküdür. Xəbər-ötürülən məlumatdır. Xəbər mənbədə hasil edilir, ünvanda istehlak olunur. Xəbər mənbəyi dedikdə, özündən informasiya şüalandıra bilən obyekt nəzərdə tutulur. Xəbər ünvanı isə informasiya qəbul edə bilən obyektidir.

Xəbər simvol, mətn və şəkil formasında ötürülə bilər. Simvol forması — hərf, rəqəm, işarə və s.-dən ibarət ən sadə formadır. Buna görə də simvol forması yalnız sadə siqnalların ötürülməsində istifadə edilə bilər. Siqnal — elementar xəbərdir. Mətn forması informasiyanın nisbətən mürəkkəb təqdimat formasıdır. Mətn formasında da simvollarından istifadə edilir. Lakin burada simvolların kombinasiyaları geniş tətbiq olunur. Bu isə mətn formasının geniş tətbiqinə imkan yaratmışdır. Ən mürəkkəb forma şəkilötürmə formasıdır. Çünki bu forma həddən çox informasiya tutumludur. İnformasiyatutumluluq anlayışı göstərir ki, informasiyanın həcmi və miqdarı vardır. İnformasiyanın həcmi

dedikdə, onun yükləndiyi işarələrin (daşıyıcıların) sayı nəzərdə tutulur. İnformasiyanın miqdarı isə ləğv edilən qeyri-müəyyənliklə ölçülür. İnformasiya daşıyan xəbərlər hava, su, elektrik, efir, şüa və s. ilə ötürülür. İnformasiya ötürən mühitə dil deyilir. İnformasiya kağızda, parçada, ağacda, dəmirdə və s. saxlanır. İnformasiya saxlayan mühitə yaddaş adlanır.

Beləliklə, informasiya-yaddaşlar arasında mövcud olan dillərin məna yüküdür. Dilin yaddaşı, yaddaşın da dili var.

İnformasiyanın saxlanması və ötürülməsi üçün istifadə edilən daşıyıcıların minimal sayı 2-dən az ola bilməz. Çünki müqayisə üçün azı 2 element lazımdır. Beləliklə, informasiyanın ən sadə və universal təqdimat forması 2-lik formadır. Bu, "hə" və "yox" kimi elementar münasibət bildiricilərinin yükləndiyi 1 və 0 rəqəmləridir. 1-elektrik cərəyanı var, 0-cərəyan yoxdur — deməkdir.

Beləliklə, 0 və 1 simvollarından 2-lik mətn yaradılır. Yəni, informasiya — 0 və 1 istehsal edə bilən yaddaşla həmin simvolları istehlak edə bilən yaddaş arasında bu rəqəmləri ötürə bilən dilin daşdığı 0 və 1-lərin elementar məna yüklərindən əmələ gələn bütöv, bitkin mənadır.

2.2. İnformasiya və kodlaşdırma nəzəriyyəsinin vəzifələri

Obyektlər arasında informasiyanın ötürülməsindən danışarkən adətən, ya bütövlükdə obyekt haqqında, ya da onun ayrı-ayrı elementlərinin vəziyyətinə dair məlumatlar kompleksi nəzərdə tutulur. Obyekt (informasiya mənbəyi) haqqında alınan konkret məlumatlar *xəbər* adlanır. Xəbərlər siqnalların köməyi ilə ötürülür. *Signal*—zamanda və məkanda informasiya daşıyıcısıdır. Siqnalların bir neçə növü vardır:

- görünən siqnal (televiziya təsvirləri)
- səs siqnalı (zəng)
- elektrik siqnalı (müsbət və mənfi impulslar)
- radio siqnalı və i.a.

Bir siqnal başqa siqnala səbəb ola bilər. Siqnallar bir-biri ilə həm məkanca, həm də zamanca əlaqədə ola bilərlər. *Siqnal*-obyektin vəziyyətinin dəyişilməsinin nəticəsidir.

İnformasiya ötürmə prosesində obyektin vəziyyətinin dəyişilməsi qanunları *kod* adlanır.

Xəbərlərin siqnallara yüklənməsi aşağıdakı mərhələlərdən keçir:

a) *dəyişdirmə* (xəbərin kodlaşdırmaya uyğun şəkilə gətirilməsi);

b) *kodlaşdırma* (xəbər elementlərinin müəyyən qanun üzrə qurulması);

v) *modulyasiya* (kodlaşdırılmış xəbəri siqnala çevirmək üçün ötürücü mühitə təsir edilməsi).

Siqnallar zamandakı vəziyyətinə görə: statik və dinamik olur. *Statik siqnal* obyektin vəziyyətinin dayanıqlı dəyişikliyinə göstərir. *Dinamik siqnal* obyektin vəziyyətinin kəsilməz dəyişilməsini əks etdirir.

Rabitə kanalının girişindəki hərflər, işarələr və keyfiyyət əlamətləri ardıcılığı *giriş kod sözü*, çıxışdakılar isə *çığış kod sözü* adlanır. Giriş kod sözlərindən tərtib edilən xəbərlər *ilkin*, çıxış kod sözlərindən tərtib edilən xəbərlər isə *ikinci* xəbər adlanır. Bu halda kodlaşdırmaya ilkin xəbərlərdən ikinci xəbərlərə keçid kimi baxılır ki, burada da kod həmin keçidin həyata keçirilməsi alqoritmi kimi təsəvvür edilir.

Xəbərlər və siqnallar quruluşuna görə 2 növə bölünür: *kəsilməz və diskret*. Əgər siqnal (xəbər) amplitudaların sonlu intervalında ixtiyari qiymət alırsa, bu, kəsilməz, məhdud sayda qiymət

mətlər alırsa, bu, diskretdir. Kəsilməz siqnallara nisbətən diskret siqnallar informasiyanın ötürülməsində daha geniş istifadə edilir. Çünki, diskret siqnallar rabitə kanalındakı maneələrə daha davamlıdır, səhvlər asan aşkar olunur və ən başlıcası, kompüterdə asan işlənir. Kəsilməz siqnallar kvantlaşdırma metodu ilə diskret siqnallara gətirilə bildiyindən, biz yalnız diskret siqnallara diqqət yetirəcəyik.

Diskret xəbərin vahidləri *diskret verilişlər* adlanır. Bu verilişlər müxtəlif fiziki xassələrə malikdir ki, buna da *keyfiyyət əlamətləri* deyilir. Keyfiyyət əlamətlərindən: qütb, amplituda, zaman, tezlik və tezlik-zaman əlamətlərini misal göstərmək olar.

Qütb əlaməti mənfi və müsbət impulslara əsaslandığından, keyfiyyətlərin sayı $m = 2$ -dir.

Amplituda əlaməti nəzəri olaraq sonsuz olsa da, təcrübədə yalnız iki əlamətdən istifadə edilir: siqnal var, siqnal yoxdur.

Zaman əlamətinin sayı $m \geq 2$ -dir. Elementar verilişin uzadılması maneələrdən qorunmağın geniş yayılmış vasitəsidir.

Tezlik əlaməti dedikdə, verilənin tamamlanma tezliyi nəzərdə tutulur.

Çox zaman bir-neçə keyfiyyət əlamətindən birgə istifadə edilir. Bu, ötürmənin etibarlılığını yüksəltməyə imkan verir. Ən geniş yayılmış qarışıq əlamətli kod tezlik-zaman əlamətli koddur. Bu cür kod müəyyən uzunluqlu, çox tezlikli verilənlərdən təşkil edilir. Elementar verilənlər zamana görə sıralanır. Bu cür keyfiyyətlərin sayı $k = m_t + m_z$ olur. Burada: m_t və m_z - uyğun olaraq tezlik və zaman əlamətlərinin sayıdır.

Seçilmiş kodlaşdırma metodundan asılı olaraq, xəbərlər ansamblında verilişlər qruplaşdırılır.

Ötürülən hər bir xəbər ilkin xəbərlər ansamblından təsadüfi seçmənin nəticəsi olduğundan, hər bir xəbərin alınması müəyyən ehtimallı təsadüfi hadisədir.

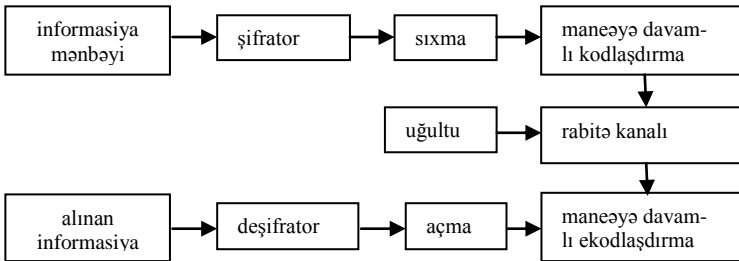
“İnformasiya və kodlaşdırma nəzəriyyəsi”nin əsas vəzifəsi elə rabitə sistemi işləyib hazırlamaqdan ibarətdir ki, bu sistem özünün gücü, tezlik zolağı, ötürmə vaxtı və s. kimi parametrlərinin minimal qiymətində lazımı ötürmə dəqiqliyini təmin etsin.

2.3. İnformasiyaötürən sistemin modeli. Rabitə kanalları

İnformasiya neçə üsulla təsvir edilə bilirsə, onu bir o qədər sayda üsulla ötürmək olar.

Xəbərləri mənbədən (obyektdən) ünvana ötürən texniki vasitələr kompleksinə ötürmə sistemi deyilir.

Ötürmə sisteminin modeli dedikdə, aşağıdakı sxem başa düşülür:



İnformasiya - maddi olmayan obyekt, onun köməyi ilə real, virtual və təsəvvür olunan obyektləri istənilən dəqiqliklə izah etmək olar. *İnformasiya* - qeyri müəyyənliyin əksidir.

Rabitə kanalı - informasiya ötürən mühitdir, ilk növbədə ötürülən məlumatların maksimal sürəti ilə xarakterizə olunur.

Uğultu - rabitə kanalına informasiya ötürülən zaman maneədir.

Kodlaşdırma - diskret informasiyanın aşağıdakı üsullardan biri ilə dəyişdirilməsidir: şifrələmə, sıxma, uğultudan müdafiə.

Rabitə kanalının uğultusuz tutumunu bu kanalda mümkün olan dalğa proseslərinin maksimal tezliyini bilməklə təxmini hesablamaq olar. Hesab etmək olar ki, məlumatların ötürülmə sürəti, bu tezlikdən az deyil. Məsələn, tezlik 1000 hs olduqda, ən azı 1 Kbod sürəti ilə məlumatların ötürülməsini təmin etmək olar.

Tezlik həddi ilə əlaqədar rabitə kanalına misallar: Teleqraf-140 hs, telefon-3.1 Khs qədər, qısa dalğa (10-100 m) - 3-30 Mhs.

Çoxkanallı rabitə sistemində siqnalları birləşdirən və ayıran qurğular mövcuddur. Çoxkanallı sistemdə bir neçə obyektin informasiyası bir rabitə xətti ilə ötürülür və bu xəttə bir neçə ünvan qoşula bilir. Çoxkanallı sistemdə kodlaşdırıcı qurğular birləşdirici qurğulardan əvvəl, dekodlaşdırıcı qurğular isə ayırıcı qurğulardan sonra yerləşdirilir.

Çoxkanallı sistem çoxnaqillli və ya çoxxətli sistem demək deyildir. Rabitə kanalı dedikdə, ötürmə texnikası, rabitə xətti dedikdə isə yalnız informasiya daşıyan siqnalların yayıldığı mühit başa düşülür. Rabitə xəttinin buraxıcılıq qabiliyyətini artırmaq məqsədi ilə bir xətlə eyni zamanda bir neçə obyektin xəbərlərini ötürürlər. Buna *sıxlaşdırma* deyilir. Bu zaman xətt ümumi olsa da, hər bir obyekt öz xəbərini öz kanalı ilə ötürür.

Bəzən bir obyektin bir neçə ünvanı olur. Obyektlə ünvanlar arasındakı rabitə *ardıcıl, radial, şərikli və ağacşəkilli* quruluşa malik ola bilər.

Ardıcıl quruluşda ünvanlar zənciri yaradılır.

Radial quruluşda bütün ünvanlar obyektlə bilavasitə əlaqələndirilir.

Şərikli quruluş ardıcıl və radial quruluşun kombinasiyasıdır.

Ağacşəkilli quruluş isə ardıcıl və radial quruluşlardan yaradılmış şaxəli quruluşdur.

Rabitə xəttinin növündən asılı olaraq rabitə kanalları: metal-xətli naqıl kanalı, efirxətli radio kanalı, işıqxətli optik kanal və suxətli hidroakustik kanal kimi növlərə bölünür.

Rabitə kanalının tezlik zolağı geniş olduqca eyni vaxtda daha çox informasiya ötürmək mümkün olur. Optik kanalın buraxıcılıq qabiliyyəti daha çoxdur.

2.4. İnformasiyanın kəmiyyətcə qiymətləndirilməsi

İnformasiyanın miqdarı hadisələrin sayından asılı olsa da, ötürülən faktdakı *naməlumluğun* ləğv edilməsi ilə ölçülür.

Bir halda ki, xəbər ötürülərkən simvollar qruplarından biri seçilir, onda ən sadə halda bir-birini inkar edən və ünvan üçün eyni aprior ehtimala malik olan 2 xəbərdən biri seçilə bilər. Yəni, xəbər ötürmək üçün ən sadə hal “hə-yox” seçməsindən ibarətdir ki, burada da “hə”-1, “yox”-0-la işarə edilir. Bu seçmənin nəticəsində alınan informasiyanın miqdarı vahid qəbul edilmişdir. Buna 2-lik vahid və ya bit (ingiliscə, binary digit) deyilir. Məsələn, aşağıdakı sualların hər birinin cavabı 1 bit informasiya daşıyır:

- götürülən rəqəm cütdürmü?
- metrodan çıxan qadın xeylağıdırımı?
- metal pul gerb üzünəmi düşdü? və s.

Sual başqa cür qoyulduqda cavabın daşdığı informasiyanın miqdarı 1 bit olmur.

Bəs informasiyanın miqdarını necə ölçməli?

Hər şeydən əvvəl, informasiyanın miqdarı *additivlik* xassəsinə malik olmalıdır. Yəni, metoddan, aparatdan, kanaldan asılı olmayaraq ötürülən simvolların sayı çox olduqca, alınan informa-

siyanın miqdarı da çox olmalıdır. Teleqramda nə qədər çox söz varsa, bir o qədər çox informasiya ötürülməsi imkanı vardır. Burada, informasiyanın miqdarını qiymətliyi ilə qarışdırmaq olmaz. Yəni, az miqdarda informasiya son dərəcə qiymətli ola bilər və əksinə. Lakin praqmatik aspektin rəhbərliyinə əsaslanaraq deyilə bilərik ki, kanal nə qədər çox məşğuldursa, bir o qədər çox informasiya ötürmüş hesab olunur. Yəni, ötürülən informasiyanın miqdarı yalnız ötürmə sisteminin mövqeyindən ölçülür. Lakin informasiyanın kəmiyyətə qiymətləndirilməsi R.Xartli mövqeyindən aşağıdakı kimi təyin edilmişdir.

R.Xartli fərz edir ki, m simvolla əlifbadan hər birində n element olan kombinasiyalar nəticəsində m^n sayda xəbər düzəltmək olar. Yəni:

$$N = m^n \quad (1)$$

Məsələn, 2 simvolla ($m = 2$) əlifba ilə 2 dənə 1 simvolla (0; 1), 4 dənə 2 simvolla (00; 01; 10; 11), 8 dənə 3 simvolla (000; 001; 010; 011; 100; 101; 110; 111) xəbər yaratmaq və ötürmək mümkündür:

Göründüyü kimi, N xəbərlərinin sayı xəbər elementlərinin sayından *eksponensial* asılıdır. Lakin kombinasiyaların quruluşu aydınca göstərir ki, N kəmiyyəti informasiyanın miqdarı kimi götürülə bilməz. Çünki, bu kombinasiyalar yalnız 2^i sırasında tam yüklənmiş olur. Qalan hallarda yaradılan kod kombinasiyalarında isə xeyli yüksüz elementlər mövcud olur. Belə ki, məsələn, 4 xəbəri kodlaşdırmaq üçün iki 2-lik mərtəbə kifayət etdiyi halda, 5 xəbəri kodlaşdırmağa üç 2-lik mərtəbə tələb olunur və özündən əvvəlki 4 xəbərin hər birində 1 boş element yaranır. Yəni:

$$\underbrace{00,01,10,11}_4 \quad \underbrace{000,001,010,011,100}_5$$

Bununla belə, bir şey aydındır ki, informasiyanın miqdarı **additivlik** xassəsi ilə yanaşı, **eksponensiallıq** xassəsinə də malik olan kəmiyyətdir. Odur ki, 1929-cu ildə R.Xartli informasiyanın miqdarını ölçmək üçün aşağıdakı düsturu təklif etmişdir:

$$I = \log N = \log m^n = n \cdot \log m \quad (2)$$

Göründüyü kimi, (2) düsturu həm additivliyə, həm də eksponensiallığa cavab verir. Bu düstur Bolsmanın termodinamik entropiya düsturuna çox bənzəyir. Bu bənzəmə həmin hadisələrin təbiətə oxşarlığından irəli gəlir ki, bunu da K.Şennon sübut etmişdir.

Beləliklə, ən sadə hal üçün:

$$I = \log_2 N \text{ bit yazmaq olar.}$$

Buna analoji olaraq:

$$I = \log_{10} N = \lg N \text{ dit və ya xartli,}$$

$$I = \log_e N = \ln N \text{ nit və ya nat yazmaq lazım gəlir.}$$

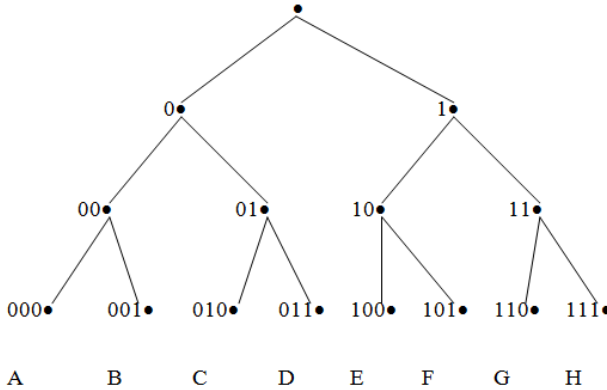
Sonralar məlum oldu ki, (1) **düsturu asılı olmayan eyni ehtimallı hallarda informasiyanın həcmi ifadə edir.**

Xartli düsturuna əsasən, 8 xəbərin hər biri 3 bit informasiya daşıyır:

$$I = \log_2 8 = \log_2 2^3 = 3 \log_2 2 = 3 \text{ bit/simvol}$$

Bu o deməkdir ki, 8 xəbərin hər birini əvəz edən kodun hər 1 simvolunun informasiya yükü 1 bitdir. Bunu izah etmək üçün fərz edək ki, A, B, C, D, E, F, G, H hərflərini 2-lik kodla əvəz etmək lazımdır. Bu halda $A \Rightarrow 000, B \Rightarrow 001, C \Rightarrow 010, D \Rightarrow 011, E \Rightarrow 100, F \Rightarrow 101, G \Rightarrow 110$ və $H \Rightarrow 111$ kimi kodlara malik olar. Göründüyü kimi, hər bir latın hərfi 3 ikilik simvolla kodlaşdırılmışdır ki, bunların da hər biri 1 bit informasiya daşıyıcısıdır.

Digər tərəfdən, bu onu göstərir ki, baxdığımız istənilən hərfi seçmək üçün 3 dəfə “hə-yox” proseduru icra etmək lazımdır. Seçmə aşağıdakı kimi təsvir edilə bilər:



Göründüyü kimi, şəcərənin sol qolu 0, sağ qolu 1-lə işarə edilmişdir. Odur ki, ilk rəqəmi 0 olan kodlar şəcərənin sol qanadını, 1 olanlar isə sağ qanadını əmələ gətirir.

Analoji olaraq, 16 hərfin kodlaşdırılması üçün 4 seçmə, 32 hərfin kodlaşdırılması üçün isə 5 seçmə tələb olunur. Əgər əlifbanın işarələri sayı 2^n sırası deyildirsə, onda hər bir hərfdəki informasiyanın miqdarı 2-nin dərəcəsinə bərabər olmayacaqdır. Buradan aydın olur ki, yuxarıda dediklərimiz yalnız bir-birindən asılı olmayan eyni ehtimallı hadisələr üçün doğrudur. Doğrudan da, tutaq ki, əlifba m işarədən ibarətdir. Hər işarə bir kürəciyin üzərinə yazılmışdır. İşarəli kürəciklərin hamısı hər hansı bir qutudadır. Onda istənilən bir hərfin qutudan çıxarılması ehtimalı $p = \frac{1}{m}$ olacaqdır. Bu halda isə:

$$I = \log m^1 = 1 \cdot \log m = \log \frac{1}{p} = \log p^{-1} = -\log p \quad (3) \text{ alınır.}$$

Yəni, hər bir eyni ehtimallı siqnalda daşınan informasiyanın miqdarı həmin siqnalın ehtimalının mənfi loqarifminə bərabərdir.

Məsələnin belə qoyuluşu K.Şennonun məxsusdur. Yəni, informasiyanın miqdarı üçün K.Şennonun təklif etdiyi və Bolsmanın termodinamik entropiya üçün verdiyi düstura bənzəyən (3) düsturu əslində, məsələnin Xartli qoyuluşundan ehtimallı qoyuluşa keçirilməsinin birbaşa nəticəsidir.

İndi fərz edək ki, xəbəri tərtib etmək üçün m keyfiyyət əlamətinə malik olan n işarə vardır. Bu zaman i əlamətli işarənin xəbərdə iştirakının aprior ehtimalı $p_i = \frac{1}{m}$ olacaqdır.

Əgər n işarə arasında i əlamətli işarələrin sayı n_i qədər olarsa, onda i əlamətli işarələrin xəbərdə iştirakı tezliyi $\frac{n_i}{n}$ olacaqdır.

Əgər 1-ci keyfiyyət əlamətini n_1 , 2-ci əlaməti n_2 və s. m -ci əlaməti n_m ilə işarə etsək, onda xəbərdəki elementlərin ümumi sayı aşağıdakı qədər olacaqdır:

$$n = n_1 + n_2 + \dots + n_i + \dots + n_m = \sum_{i=1}^m n_i$$

i əlamətli 1 işarənin xəbərdə iştirakı ehtimalı p_i^1 , 2 işarənin ehtimalı p_i^2 olduğundan, n işarənin xəbərdə iştirakı ehtimalı p_i^n olar. Bu halda $p_1^{n_1}, p_2^{n_2}, \dots, p_i^{n_i}, \dots, p_m^{n_m}$ ehtimallı işarələrin müəyyən miqdarının xəbərdə birgə iştirakı ehtimalı:

$$P = p_1^{n_1} \cdot p_2^{n_2} \cdot \dots \cdot p_i^{n_i} \cdot \dots \cdot p_m^{n_m} = \prod_{i=1}^m p_i^{n_i} \quad (4) \text{ olar.}$$

$n \rightarrow \infty$ olduqda, $\frac{n_i}{n} \rightarrow \frac{1}{m} = p_i$ olur. Beləliklə, n kifayət qədər böyük olduqda: $\frac{n_i}{n} \approx p_i$, buradan da $n_i \approx n \cdot p_i$ yazmaq olar. Bunu

(4) düsturunda yerinə yazsaq, $P = \prod_{i=1}^m p_i^{n \cdot p_i}$ alarıq. R-nin bu qiymətini (3) düsturunda yerinə yazsaq:

$$\begin{aligned} I &= -\log P = -\log\left(\prod_{i=1}^m p_i^{n \cdot p_i}\right) = -np_1 \log p_1 - \\ &\quad - np_2 \log p_2 - \dots - np_m \log p_m = \\ &= -n \sum_{i=1}^m p_i \log p_i \end{aligned} \quad (5)$$

alarıq ki, bu da məşhur Şennon düsturudur. $p_i = \frac{1}{m}$ olduqda, Şennon düsturu Xartli düsturuna çevrilir:

$$I = -n \sum_{i=1}^m p_i \log p_i = -n \sum_{i=1}^m \frac{1}{m} \log \frac{1}{m} = n \log m$$

Bu isə o deməkdir ki, Xartli düsturu Şennon düsturunun xüsusi halıdır. Yəni, asılı olmayan eyni ehtimallı xəbərlərin ötürülməsi zamanı Şennon düsturu Xartli düsturuna çevrilir. (5) düsturu isə asılı olmayan müxtəlif ehtimallı xəbərlərin ötürülməsi zamanı informasiyanın miqdarı üçün Şennon düsturu adlanır.

2.5. Entropiya və onun xassələri

Fərz edək ki, qutuda 100 kürə var. Kürələrin hamısı ağ rənglidir. Bir kürə çıxarıb, rəngi haqda xəbər verib, yenidən qutuya qaytarsaq, verdiyimiz xəbər heç bir informasiya daşımayacaq. Çünki, qutudan ağ kürənin çıxacağı yəqin ($p_i = \frac{100}{100} = 1$) hadisədir. Bu hal üçün Şennon düsturunu tətbiq edib, informasiyanın miqdarını təyin etməyə çalışsaq,

$$I = -(1 \log_2 1 + 1 \log_2 1 + \dots + 1 \log_2 1) = 0 \text{ bit/simvol}$$

alındığını yəqin edərik. İndi fərz edək ki, qutudakı 100 kürədən 99-u ağ ($p_1 = 0,99$), 1-i qara ($p_2 = 0,01$) rənglidir. Bu halda, ötürülən informasiyanın miqdarı:

$$I = -(p_1 \log_2 p_1 + p_2 \log_2 p_2) = -(0,99 \log_2 0,99 + 0,01 \log_2 0,01) = 0,0143 + 0,0664 = 0,0807 \text{ bit/simvol olacaqdır.}$$

Bu halda sınağın nəticəsi az qala bəllidir. Odur ki, alınan informasiyanın miqdarı cüzidir.

İndi fərz edək ki, qutudakı kürələrin 50-si ağ, 50-si isə qara rənglidir. Bu halda **qeyri-müəyyənlik maksimumdur**. Hansı rəngin gələcəyini heç cür dəqiq təyin etmək mümkün deyildir. Odur ki, informasiyanın miqdarı:

$$\begin{aligned} I &= -(p_1 \log_2 p_1 + p_2 \log_2 p_2) = \\ &= -\left(\frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2}\right) = \\ &= -\left(\frac{1}{2} \log_2 2^{-1} + \frac{1}{2} \log_2 2^{-1}\right) = \\ &= -\left(-\frac{1}{2} - \frac{1}{2}\right) = -(-1) = 1 \text{ bit/simvol olur.} \end{aligned}$$

Deməli, **aprior qeyri-müəyyənlik çox olduqca, onun ləğvindən alınan informasiyanın miqdarı da çox olur**. Bu mənada, entropiya informasiyanın miqdarı üçün daha məqsədəuyğun ölçüdür.

Beləliklə, informasiya nəzəriyyəsində **entropiya—xəbərin hər bir elementindəki informasiyanın xüsusi miqdarı kimi başa düşülür**.

n elementdən ibarət olan xəbər üçün entropiya aşağıdakı kimidir:

$$H = \frac{I}{n} = \frac{-n \sum_{i=1}^m p_i \log p_i}{n} = -\sum_{i=1}^m p_i \log p_i \quad (5a)$$

Göründüyü kimi, (5a) düsturu xəbərdəki **orta entropiyayı** ifadə edir.

L.Brillyuen “neqentropiya prinsipi”ni daxil edərək $H = -I$ yazmağı təklif etmiş və bununla da **entropiya ilə informasiyanın miqdarının vəhdəti və əksliyini** ön plana çəkdiyindən, (5a) düsturunu aşağıdakı kimi yazmaq daha münasibdir:

$$H = \sum_{i=1}^m p_i \log \frac{1}{p_i} \quad (6)$$

(6) düsturundakı $\log \frac{1}{p_i}$ kəmiyyəti i vəziyyətini xarakterizə etdiyindən, **hissəvi entropiya** adlanır.

(6) düsturundan görüldüyü kimi, H hissəvi entropiyaların orta qiymətidir.

Elementlər eyni ehtimallı olduqda (6) düsturu aşağıdakı şəkildə düşür:

$$H = \sum_{i=1}^m p_i \log \frac{1}{p_i} = \sum_{i=1}^m \frac{1}{m} \log m = \log m \quad (7)$$

Göründüyü kimi, (7) düsturundakı $\sum_{i=1}^m p_i$ - “mümkün hallar ansamblı”nı ifadə edərək, vahidə bərabərdir: $\sum_{i=1}^m p_i = 1$. Deməli, $n = 1$ olduqda, informasiyanın miqdarı üçün Xartlinin təklif etdiyi (2) düsturu (7) düsturuna çevrilərək entropiyamı ifadə edə bilər.

Beləliklə, **entropiya “mümkün hallar ansamblı”ndakı tam qrupu təşkil edən hadisələr məcmusundakı qeyri-müəyyənlik ölçüsünü xarakterizə edir**. Həm də burada ayrı-ayrı hadisələrin baş verməsi ehtimallarının cəmi 1-ə bərabər olmalıdır. Əks halda, Şennon düsturları öz mənasını itirir. Çünki, hadisə baş vermirsə və ya baş vermə ehtimalı sıfırırsa, bu o deməkdir ki, heç bir xəbər ötürülmür, yəni, rabitə mövcud deyildir.

Əgər $m = i = 1$, daha doğrusu, yalnız bir i əlamətli xəbər ötürülürsə, onda onun ehtimalı $p_i = 1$ olacaq və $H = \sum_{i=1}^m p_i \log \frac{1}{p_i} = 1 \log 1 = 0$ alınacaqdır.

Çünkü, bu halda heç bir qeyri-müəyyənlik yoxdur.

Dediklərimizdən aydın olur ki, **entropiya ekstremuma malik, həqiqi, müsbət kəmiyyətdir.**

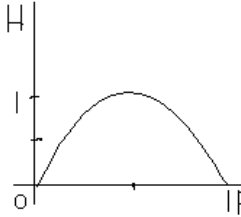
Bunu sübut etmək üçün, tutaq ki, xəbərdəki simvolların sayı 2-dir. Bu halda:

$$H = \sum_{i=1}^m p_i \log \frac{1}{p_i} = p_1 \log \frac{1}{p_1} + p_2 \log \frac{1}{p_2} \quad (8)$$

$\sum_{i=1}^m p_i = 1$ olduğundan, $p_1 + p_2 = 1$ olur. Fərz edək ki, eyni ehtimallı hala baxırıq. Onda $p_1 = p_2 = p$ ilə işarə edək. Belə olduqda $p_2 = 1 - p_1 = 1 - p$ yazıla bilər. p_1 və p_2 -nin uyğun qiymətlərini (8) düsturunda yerinə yazsaq,

$$H = p \log \frac{1}{p} + (1 - p) \log \frac{1}{(1 - p)} \quad (9)$$

alırıq. Bunu aşağıdakı kimi təsvir etmək olar:



Göründüyü kimi, binar (ikili) xəbərin entropiyası 0-dan 1-dək dəyişir və $p_1 = p_2 = 0,5$ olduqda, entropiya maksimal ($H = 1$) olur.

Keyfiyyət əlamətlərinin sayı $m > 2$ olan xəbərlər üçün də maksimal entropiya əlamətlərin eyni ehtimallı halında alınır. Başqa sözlə:

$$H_{\max} = \sum_{i=1}^m \frac{1}{m} \log m = \log m \quad (9a)$$

Entropiyanın əsas xassələrindən biri də budur ki, ***ayrı-ayrı xəbərlərdən təşkil edilmiş xəbərin entropiyası təşkiledici xəbərlərin entropiyaları cəminə bərabərdir.***

Bunu isbat etmək üçün, fərz edək ki, $H(A)$ entropiyalı A və $H(B)$ entropiyalı B xəbəri var. İsbat etmək lazımdır ki, $H(A, B) = H(A) + H(B)$

Asılı olmayan hadisələrdən təşkil edilən mürəkkəb (AB) hadisəsinin ehtimalı bu hadisələrin ehtimalları hasilinə bərabərdir. Yəni:

$$p(AB) = p(A) \cdot p(B).$$

Uyğun ehtimalları $p_i; p_j; p_{ij}$ -la işarə edib, (6) düsturunu aşağıdakı kimi yazıb bilərik:

$$\begin{aligned} H(A, B) &= \sum_{i,j}^{m,n} p_{ij} \log \frac{1}{p_{ij}} = \sum_{i,j}^{m,n} p_i \cdot p_j \log \frac{1}{p_i} \cdot \frac{1}{p_j} = \sum_{i,j}^{m,n} p_i \cdot p_j \left(\log \frac{1}{p_i} + \log \frac{1}{p_j} \right) = \\ &= \sum_{i=1}^m p_i \log \frac{1}{p_i} \sum_{j=1}^n p_j + \sum_{j=1}^n p_j \log p_j \sum_{i=1}^m p_i \end{aligned}$$

Burada:

$$\sum_{i=1}^m p_i = 1 \quad \forall \quad \sum_{j=1}^n p_j = 1$$

olduğundan,

$$H(A, B) = \sum_{i=1}^m p_i \log \frac{1}{p_i} + \sum_{j=1}^n p_j \log \frac{1}{p_j} = H(A) + H(B) \quad (10)$$

Bu xassə təşkiledicisi 2-dən artıq olan daha mürəkkəb tərkibli xəbərlər üçün də doğrudur.

2.6. Şerti entropiya

Əgər sadəcə olaraq əlifbanın hərflərini deyil, ***müəyyən məzmunlu xəbəri ötürmək*** lazım gəlirsə (ötürücü sistem məhz

belə xəbəri ötürmək üçündür), onda simvollar arasında müəyyən əlaqələrin olması şəxsizdir. Bu halda entropiyanı şərti ehtimallar əsasında müəyyən etmək lazım gəlir.

Fərz edək ki, qarşılıqlı əlaqəli olan A və B xəbərlərindən təşkil edilmiş AB xəbəri alınmışdır. A xəbərinin i əlamətli işarəsinin alınması ehtimalını $p(a_i)$ ilə, B xəbərinin j əlamətli işarəsinin alınması ehtimalını $p(b_j)$ ilə, A xəbərinin i əlamətli işarəsinin B xəbərinin j əlamətli işarəsinə nəzərən şərti ehtimalını $p(a_i / b_j)$ ilə və B xəbərinin j əlamətli işarəsinin A xəbərinin i əlamətli işarəsinə nəzərən şərti ehtimalını $p(b_j / a_i)$ ilə işarə edək.

Ehtimalların vurulması prinsipinə əsasən, iki qarşılıqlı asılı olan hadisənin birgə baş verməsi ehtimalı bu hadisələrdən birinin ehtimalı ilə digərinin şərti ehtimalı hasilinə bərabərdir:

$$p(a_i, b_j) = p(a_i) \cdot p(b_j / a_i) = p(b_j) \cdot p(a_i / b_j)$$

Bu halda AB xəbərinin entropiyası:

$$H(A, B) = H(A) + H(B / A) \quad (11)$$

kimi hesablanacaqdır.

Analoji olaraq: $H(B, A) = H(B) + H(A / B)$ almaq olar.

A ilə B arasında statistik əlaqə yoxdursa, (10) düsturuna qayıdılır. A ilə B arasında tam statistik əlaqə olduqda isə:

$$H(A, B) = H(A) = H(B) \quad \text{olar.}$$

Əgər a_i -kanala daxil edilən işarədirsə; b_j -kanalı tərk edən işarədirsə; $P(a_i)$ - kanala daxil edilən işarənin başvermə ehtimalıdır; $P(b_j)$ -kanalı tərk edən işarənin başvermə ehtimalıdır; $P(a_i / b_j)$ -mənbəyə nəzərən şərti ehtimal; $P(b_j / a_i)$ -ünvana nəzərən şərti ehtimaldırsa, onda:

$$H(A / B) = -\sum_i^m P(a_i) \sum_j^n P(a_i / b_j) \text{Log} P(a_i / b_j) \quad (12)$$

xəbər mənbəyinin şübhəsini,

$$H(B / A) = -\sum_j P(b_j) \sum_i P(b_j / a_i) \text{Log} P(b_j / a_i) \quad (13)$$

isə ünvanın şübhəsini ifadə edəcəkdir. Bu onunla əlaqədardır ki, real rabitə kanalında maneələr mövcud olduğundan, bu və ya digər təhriflər baş verə bilər.

Şərti entropiyanın aşağıdakı xassələri vardır:

- əgər A və B xəbərləri qarşılıqlı asılı deyillərsə, onda A-nın B-yə nəzər şərti entropiyası A-nın şərtsiz entropiyasına bərabərdir. Yəni: $H(A / B) = H(A)$. Analoji olaraq:

$$H(B / A) = H(B) \text{ yazmaq olar.}$$

- əgər A və B xəbərləri funksional asılıdırlarsa, onda onların şərti entropiyaları sıfır bərabərdir: $H(A / B) = H(B / A) = 0$.

Çünki funksional əlaqədə şərti ehtimal vahidə bərabərdir.

2.7. Bolluq. İnformasiyanın ötürülməsi sürəti

Bolluq - xəbər təşkil edildiyi kodun informasiya ehtiyatını göstərir. Əslində bolluq anlayışı əlifbanın quruluşu ilə bağlı olan **artıq** informasiyanın miqdarını göstərir. Məsələn, 26 hərfdən ibarət olan ingilis əlifbasında entropiyanın maksimum qiyməti:

$$H_{\max} = \log_2 m = \log_2 26 = 4,7 \text{ bit-dir.}$$

Müxtəlif hərflərin müxtəlif mətnlərdə iştirakı tezliyinin müxtəlifliyi ingilis əlifbasındakı bolluğu 2,35 bitə endirir. Sözlərin sıralanması statistikasına nəzər alındıqda isə entropiya 2 bitə enir. Bu onu göstərir ki, müxtəlif birləşmələrdə hərflərin, müxtəlif xəbərlərdə sözlərin ardıcılığını nəzərə almaqla ötürülən informasiyanı **sıxmaq** olar. Bu mənada,

$$\mu = \frac{H}{H_{\max}} \quad (14)$$

sıxlaşdırma əmsalı adlanır.

Belə də

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

və ya

$$D = 1 - \mu \quad (15)$$

bolluğu ifadə edir.

Göründüyü kimi, ***bolluq simvolların natamam yüklənməsini, boşluğunu ifadə edir.*** Bolluğu olmayan xəbəri sıxmaq mümkün deyildir. Entropiyası çox olan xəbərdə bolluq çox olur.

İngilis dili üçün bolluq:

$$D = 1 - \frac{H}{H_{\max}} = 1 - \frac{2,35}{4,7} = 1 - 0,5 = 0,5$$

olur.

Bu o deməkdir ki, ingilis dilində əlifbanın 50%-indən tərtib edilmiş mətni bərpa etmək mümkündür. Bu bir də o deməkdir ki, ingilis dilinin tam yarısı boşdur və bu dildəki mətni azı 2 dəfə sıxmaq mümkündür.

İnformasiya bolluğu 2 növü vardır:

- 1) simvollar arasındakı ***statistik əlaqə*** ilə bağlı bolluq: D_s
- 2) simvolların ***ehtimallarının müxtəlif*** olması ilə bağlı olan bolluq: D_p .

$$D_s = 1 - \frac{\sum_{i,j}^{m,n} p_i \cdot p_{ji} \log \frac{1}{p_{ji}}}{\sum_{i=1}^m p_i \log \frac{1}{p_i}} \quad (16)$$

kimi,

$$D_p = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m p_i \log \frac{1}{p_i}}{\log m} \quad (17)$$

kimi hesablanır.

Beləliklə, ümumi bolluq $D = D_s + D_p - D_s \cdot D_p$ kimi hesablanır. D_s və D_p kifayət qədər kiçik olduqda $D_s \cdot D_p \rightarrow 0$ olduğundan, $D = D_s + D_p$ olur.

Signal uzadıldıqca bolluq artır. Bolluq artdıqca maneəyə davamlılıq artır. Bu mənada, *informasiya və kodlaşdırma nəzəriyyəsinin əsas vəzifələrindən biri məhz müəyyən maneələr şəraitində bolluğun optimal qiymətini təyin etməkdən ibarətdir.*

Ötürmə sistemini xarakterizə etmək üçün entropiya, informasiyanın miqdarı və bolluq anlayışları ilə yanaşı, *sistemin buraxıcılıq qabiliyyəti* də vacibdir. Buraxıcılıq qabiliyyəti kanalın potensial imkanını xarakterizə edir və *ötürmə sürətinin maksimumu* kimi başa düşülür.

Ötürmə sürəti dedikdə, vaxt vahidi ərzində ötürülən informasiyanın miqdarı nəzərdə tutulur.

Diskret kanal üçün ötürmə sürəti vaxt vahidi ərzində ötürülən simvolların sayı ilə xarakterizə edilir. Entropiya xəbərdəki bir simvola düşən informasiyanın miqdarı olduğundan, 1 simvolun ötürülməsi vaxtını vahid olaraq götürmək məqsəda uyğundur.

Ötürmə sürəti aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$C = \frac{H}{\tau} \text{ bit/san} \quad (18)$$

Burada: τ - 1 simvolun ötürülməsi vaxtıdır (san).

Asılı olmayan eyni ehtimallı hal üçün:

$$C = \frac{1}{\tau} \cdot \log_2 m \text{ bit/san} \quad (19)$$

Bu halda ötürmə sürətini (C) artırmaq üçün elementar simvolun uzunluğunu azaltmaq lazımdır.

Eyni uzunluqlu, müxtəlif ehtimallı simvollardan istifadə edilərkən ötürmə sürəti:

$$C' = \frac{1}{\tau} \left(\sum_{i=1}^m p_i \log_2 \frac{1}{p_i} \right) \text{ bit/san} \quad (20)$$

Müxtəlif uzunluqlu, müxtəlif ehtimallı simvollarıdan istifadə edilərkən:

$$C'' = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \tau \cdot p_i} \left(\sum_{i=1}^m p_i \log_2 \frac{1}{p_i} \right) \text{ bit/san} \quad (21)$$

Bu halda ötürmə sürətini (C'') yalnız o zaman artırmaq olar ki, qısa impulsar daha tez-tez baş versin. Lakin bu zaman simvolların ehtimalları arasındakı fərq böyük olmamalıdır. Çünki bu halda C'' artırmaq mümkün olmaya da bilər. Odur ki, (21) - də ötürmə sürətini yalnız entropiyanın artırılması hesabına artırmaq olar.

Beləliklə, ötürmə sürətinin maksimumu olan kanalın buraxıcılıq qabiliyyətini ifadə edən kəmiyyət entropiyanın maksimumunda yerləşir.

Uğultusuz diskret rabitə kanalının buraxıcılıq qabiliyyəti də entropiyanın maksimumu ilə bağlıdır. Çünki diskret kanal elementar simvolların sonlu sayına (A_1, A_2, \dots, A_n) və sonlu uzunluğuna (t_1, t_2, \dots, t_n) əsaslanır. Burada simvollar asılı deyillər, aralarında korrelyasiya əlaqəsi yoxdur, fiziki təbiətləri etibarlı ilə dəyişkən ola biləndirlər.

Fərz edək ki, τ uzunluqlu elementlərdən təşkil edilmiş N xəbəri, daha doğrusu, teletayp vasitəsilə Bodo kodu ilə N hərfi ötürülməlidir.

Bodo kodunda hər bir hərf 5 ikilik mərtəbə ilə əvəz olunur. Yəni hər bir hərf 5 bit informasiya daşıyır. Kod eyniölcülüdür. Entropiya maksimaldır.

Əgər 1 hərfin ötürülməsinə 1 saniyə sərf olunarsa, onda ideal halda rabitə kanalında ötürmə sürəti 5 bit/saniyə olacaqdır. Bu sürət həmin kanalın buraxıcılıq qabiliyyətidir.

Lakin kanalın ötürmə sürəti obyektin seçmə qabiliyyəti ilə məhdudlaşır. Odur ki, yenə də ötürmə sürətinin maksimumu entropiyanın maksimumuna bağlanır:

$$C_{\max} = \frac{H_{\max}}{T} \quad (22)$$

Burada: T - xəbərin uzunluğudur.

İnformasiyanın ötürülmə sürəti ilə siqnalın ötürülmə sürətini qarışdırmaq olmaz!

Çünki, informasiyanın ötürülmə sürəti mənbəyin entropiyasından asılı olduğu halda, siqnalın ötürülmə sürəti siqnal yaradan manipulyasiyanın tezliyindən asılıdır və vaxt vahidi ərzində ötürülən siqnalların sayı ilə ölçülür.

Kodlaşdırma sisteminin səmərəliliyi ötürmənin həqiqi sürətinin kanalın buraxıcılıq qabiliyyətinə nisbəti kimi hesablanır. Məsələn, elementar simvollar eyni uzunluqlu olduqda səmərəlilik:

$$Q = \frac{H}{H_{\max}} \quad (23)$$

kimi hesablanır. Buradan aydınca görünür ki, kodlaşdırma sisteminin səmərəliliyi bolluqla birbaşa bağlı olan kəmiyyətdir.

Yəni: $Q = 1 - D$.

Bu onu göstərir ki, kodlaşdırma sisteminin səmərəliliyini yüksəltmək üçün bolluğu azaltmaq lazımdır. Yəni, bolluqsuz kodun səmərəliliyi maksimal olur!

2.8. Kodlar və onların təsviri

Xəbərlər həm ***eyniölçülü*** komplekt kodlarla, həm də ***müxtəlif ölçülü*** kodlarla (MÖK) ötürülə bilər. Məsə-

lən, $2^0 + 2^1 + 2^2 + \dots + 2^n$ MÖK-dür. Bu kodun bütün kombinasiyalarını sıfırların köməyi ilə ən böyük ölçüyə çatdırsaq, 2-lik komplekt kod alarıq:

2-lik MÖK	2-lik komplekt kod
1	0001
10	0010
11	0011
100	0100
101	0101
110	0110
111	0111
1000	1000

Bod kodu 2-lik komplekt koddur. Bod kodunun kombinasiyalarının sayı $N = 2^5 = 32$ -dir.

İstənilən mətn və rəqəm informasiyasını Bod kodu ilə ötürmək praktiki olaraq mümkündür.

Rabitə kanalında impulslar 2 yerə: keyfiyyətə və zamana görə bölünə bilər.

Keyfiyyət bölgüsü bir rabitə kanalı ilə eyni vaxtda müxtəlif obyektlərdən informasiya ötürməyə imkan verir. Bunun ən geniş yayılmış növü *tezlik* bölgüsüdür.

Xəbər *zamana* görə bölünəndə bir keyfiyyət əlamətinin köməyi ilə ötürülür. Bu bölgüdə müxtəlif obyektlərdən bir kanalla ötürülən xəbərlər zamana görə növbəyə düzülür.

Kodların təsvirində birləşmələr nəzəriyyəsini, cəbri və həndəsi quruluşları tətbiq etmək olur. Kodlar düsturla, həndəsi fiqurla, cədvəllə, qrafla, çoxhədli ilə, matrislə və s. təsvir edilir.

Uğultusuz rabitə kanalları üçün kodlaşdırmanın əsas teoremi.

Ötürmə sistemində aparatlar səhvə yol vermirsə, rabitə kanalı sönmə və maneələrə uğramırsa, bu, *uğultusuz sistem* sayılır. Uğultusuz sistemdə informasiya itkisi baş vermir. Lakin uğultusuz sistemdə də tətbiq edilən kod aşağıdakı tələblərə cavab verməlidir:

a) müxtəlif simvollar müxtəlif koda malik olmalıdır. Çünki, eyni kodla ötürülən müxtəlif xəbərləri düzgün dekodlaşdırmaq mümkün deyildir.

b) kod elə qurulmalıdır ki, bir xəbərin ilk və son hərfini dəqiq ayırmaq mümkün olsun. Bunun üçün koda əlavə simvol (məsələn, pauza) daxil etmək olar ki, birinci xəbərin sonunu ikinci xəbərin başlanğıcından ayırmaq mümkün olsun. Bu tələbi komplekt kodla da ödəmək olar. Burada sadəcə olaraq simvolları saymaqla kifayətlənmək olar ki, bu da dekodlaşdırıcı aparatları sadələşdirməyə və dekodlaşdırma prosesini avtomatlaşdırmağa imkan yaradar. Lakin komplekt kod yalnız eyni ehtimallı, asılı olmayan xəbərlərin ötürülməsi üçün daha səmərəlidir.

v) kod mümkün qədər müxtəsər olmalıdır. Çünki, simvolların sayı azaldıqca, ötürmə sürəti artır.

Lakin bu sonuncu halda kod sözünün minimum orta uzunluğunu təyin etmək lazımdır. Bunun üçün fərz edək ki, sonlu m sayda simvoldan təşkil edilmiş əlifbanın köməyi ilə N xəbərini ötürmək lazımdır. Bu halda kod sözünün orta uzunluğu:

$$L' = \frac{1}{\log_2 m} \sum_{i=1}^m p_i \sum_{j=1}^n p_{i/j} \log_2 p_{i/j} \quad (24)$$

kimi təyin edilir. Eyni ehtimallı asılı olmayan hal üçün:

$$L'' = \frac{\log_2 N}{\log_2 m} \quad (25)$$

kimi təyin edilir.

$$\log_2 N > \sum_{i=1}^m p_i \sum_{j=1}^n p_{i/j} \log_2 p_{i/j}$$

olduğundan, $L'' > L'$ alınır. Buna görə də (24) ifadəsi kod əmələgətirən simvollar sayının azaldılmasının son həddini göstərir. (24) və (25) ifadələrinin müqayisəsi göstərir ki, kod sözünün orta uzunluğunu azaltmaq üçün m keyfiyyət əlamətlərinin sayını artırmaq lazımdır. Lakin bu, aparatların mürəkkəbləşməsinə səbəb olur. Bolluğu minimumlaşdırmaqla da kod sözünü qısaltmaq olar. Bu mənada, optimal kod bolluqsuz koddur ki, buna da klassik Şennon-Fano kodu ən yaxşı nümunədir.

Şennon-Fano kodunun qurulması prinsipini araşdırmağa çalışaq.

Əgər cavab yalnız “hə-yox” olarsa, fikirdə tutulan N ədədini təyin etmək üçün neçə sual vermək lazımdır?

Fərz edək ki, $N \leq 10$ -dur. Bu məsələnin həlli üçün veriləcək sualların sayını (k) təyin etmə prosesini mürəkkəb sınaq kimi təsəvvür edək. Yəni: $A_k = a_1, a_2, \dots, a_k$

Burada: a_1 - 1-ci sualın cavabı, a_2 - 2-ci sualın cavabı və s.

Sınaqdakı entropiya $H_{a_1} = \log 2$ -dir. Çünki “hə-yox” cavabları eyni ehtimallıdır. Bu halda iki sınağın entropiyası $H_{a_2} = 2 \log 2$ olacaqdır. Nəhayət, k sınaqdakı entropiya $H_{a_k} \leq k \log 2$ olar.

Düşünülmüş rəqəm 10 hüdudunda olduğundan, A_k sınağının maksimal informasiyası: $I_{A_k} = 11 \log 10$ olar.

Yuxarıda dediklərimizi yekunlaşdırsaq,

$\log 10 = I_{A_k} \leq H_{a_k} \leq k \log 2 = \log 2^k$ və buradan da $2^k \geq 10$ alınar ki, bunun da nəticəsi:

$$k \geq \log_2 10 = \frac{\log 10}{\log 2} \approx 3,32 \text{ olar.}$$

Sınaqların sayı kəsr ola bilmədiyi üçün $k = 4$ götürülməlidir. Bunu aşağıdakı kimi sübut etmək olar:

1-ci sual: 5-dən böyükdürmü? Əgər “yox”, onda

2-ci sual: 3-dən böyükdürmü? Əgər “yox”, onda

3-cü sual: 2-dən kiçikdirmi? Əgər “hə”, onda

4-cü sual 1-dirimi? Cavab: “hə”!

Ümumi hal üçün:

$$k \geq \frac{\log N}{\log 2} \quad (26)$$

yazmaq lazımdır.

$$k - \frac{\log N}{\log 2}$$

fərqi həmişə 1-dən kiçikdir. Çünki yuvarlaqlaşdırma həmişə yaxın böyük tam ədədə doğru aparılır. Buna görə də:

$$k - 1 < \frac{\log N}{\log 2} \leq k \quad (27)$$

yazmaq olar. 2-lik kodda k verilən 10-luq ədədin 2-lik mərtəbələrini sayını göstərir: $10_{10} \Rightarrow 1010_2$. Bu onu göstərir ki, düşünülmüş ədəd 100 hüdudundadırsa, dəqiq cavab üçün 7 sual vermək lazım gələcək. Çünki: $100_{10} \Rightarrow 1100010_2$ -dir.

Beləliklə, $\frac{\log N}{\log 2}$ kəmiyyəti kod sözünün uzunluğunu ölçməyə

imkan verir. Göstərək ki, N 2-nin qüvvəti olduqda, k tam ədəd olur və L kod sözünün minimal uzunluğunu ifadə edir.

2-lik əlifba ($m = 2$) üçün:

$$L \geq \frac{\log N}{\log 2} = \log_2 N \quad (28)$$

yazmaq olar.

Bu halda $L - \frac{\log N}{\log 2}$ fərqi verilən xəbərlər ansamblının *bol-luğunu* ifadə edəcəkdir. N ***böyük olduqca bolluq az, kod sözü-nün orta uzunluğu isə qısa olur.***

2-lik əlifba üçün dediklərimiz m işarəli kod üçün də doğrudur. Yəni, m işarəli əlifba üçün kod sözünün uzunluğu:

$$L \geq \frac{\log N}{\log m} \quad (29)$$

olar. Digər tərəfdən: $L - \frac{\log N}{\log m} < 1$

və ya

$$L < \frac{\log N}{\log m} + 1 \quad (30)$$

alırıq. Beləliklə, (29) kod sözünün orta uzunluğunun yuxarı sərhədi, (30) isə aşağı sərhədidir. Onda:

$$\frac{\sum_{i=1}^m p_i \log p_i}{\log m} \leq L < \frac{\sum_{i=1}^m p_i \log p_i}{\log m} + 1 \quad (31)$$

yazmaq olar.

İndi isə aşağı və yuxarı sərhədlər arasındakı fərqi azaldan şərtə baxaq. Bunun üçün:

$$L - \frac{\log N}{\log m} < 1 \text{ şəklində ifadə edilən bolluğun təbiətini}$$

aydınlaşdıraq.

Fərz edək ki, $m = 2$ əlamətli komplekt kod ötürülür. Simvollar asılı deyil. 8 hərfli əlifba üzrə kodun ötürülməsi zamanı kod sözünün minimal orta uzunluğu

$$L_8 = \frac{\log N}{\log m} = \frac{\log 8}{\log 2} = \log_2 8 = 3$$

olar.

5 hərfin ötürülməsi üçün isə:

$$L_5 = \log_2 5 = 2,322 \text{ alınır.}$$

Yəni, 5 hərfin ötürülməsi üçün də 3 simvol tələb olunur.

Bu halda sıxlaşdırma əmsalı:

$$\mu = \frac{H}{H_{\max}} = \frac{2,322}{3} = 0,774$$

bolluq isə:

$$D = 1 - \mu = 1 - 0,774 = 0,226 \text{ olar.}$$

Bu o deməkdir ki, 5 hərfin ötürülməsi zamanı kodun nətəmmam yüklənməsi 22,6% təşkil edir.

N 2-nin tam qüvvəti olduqda kodda sıfır və vahidlər eyni sayda olur:

A_1	000	3	0
A_2	001	2	1
A_3	010	2	1
A_4	011	1	2
A_5	100	2	1
A_6	101	1	2
A_7	110	1	2
A_8	111	0	3

Göründüyü kimi, 8 2-nin tam qüvvətidir deyə, kod kombinasiyalarında 12 sıfır və 12 vahid iştirak edir. Qalan hallarda sıfırlar çoxluq təşkil edir. Məsələn 10 xəbər üçün 4 işarəli koddan istifadə edildiyindən, sıfırlar vahidlərdən 1,66 dəfə çox olur.

Blokşəkilli kodlaşdırma. Blok asılı olmayan hərfərdən təşkil edilir. Blokun bütün hərfələrindən tərtib edilmiş xəbərdəki entropiya:

$$MH(a) = H(a_1, a_2, \dots, a_m) = H(a_1) + H(a_2) + \dots + H(a_m)$$

kimi hesablanır.

(31) ifadəsinə analogi olaraq:

$$\frac{MH}{\log m} \leq L_M < \frac{MH}{\log m} + 1 \quad (32)$$

yazmaq olar. Burada: L_M - blokdakı hərfələrin orta sayıdır. Hər bir hərf də, öz növbəsində, L elementar m simvollarından təşkil edilir. Ona görə də blokşəkilli kodlaşdırmada xəbərin hərfindəki elementar simvolların sayı blokun orta uzunluğuna bərabərdir:

$$L = \frac{L_M}{M} \quad (33)$$

Deməli, L - i almaq üçün (32) bərabərsizliyinin bütün hissələrini M - ə bölmək lazımdır:

$$\frac{H}{\log m} \leq L < \frac{H}{\log m} + \frac{1}{M} \quad (34)$$

$M \rightarrow \infty$ şərtində hər bir hərfin ötürülməsinə sərf edilən elementar simvolların orta sayı hüdudsuz olaraq

$$\frac{H}{\log m}$$

kəmiyyətinə yaxınlaşır. Beləliklə, (34) bərabərsizliyi uğultusuz kanalda kodlaşdırmanın əsas ifadəsidir.

Bunu teorem şəklində belə ifadə etmək olar: ***uğultusuz kanalda m simvolla əlifba ilə H entropiyalı siqnallar çoxluğu kodlaşdırılarkən kod sözünün orta uzunluğu***

$$\frac{H}{\log m}$$

kəmiyyətindən kiçik ola bilməz.

Ehtimallar m^{-i} deyilsə, $\frac{H}{\log m}$ həddinə çatmaq mümkün deyil. Lakin kifayət qədər uzun bloklarla həmin həddə kifayət qədər yaxınlaşmaq mümkündür. $p_i = 2^{-i}$ şərtində hər bir hərfə düşən 2-lik işarələrin orta sayı mənbəyin entropiyasına dəqiq bərabər olur.

2.9. Optimal kodlaşdırma

Kodun optimal olması üçün aşağıdakı xassələr vacibdir:

- a) hər bir kod sözündə bolluq minimum və ya sıfır olmalıdır;
- b) optimal kodun kod sözləri asılı olmayan eyni ehtimallı simvollardan qurulmalıdır.

Odur ki, optimal kodlaşdırmanın birinci prinsipi *koddaki informasiyanın maksimumluğu*, ikinci prinsip isə *böyük ehtimallı kod sözünün qısa olmasıdır*.

Bu prinsiplərdən çıxış edərək M xəbərlər ansamblını optimal kodlaşdırmaq üçün:

- 1) xəbərləri ehtimalların azalması qaydasında düzmək;
- 2) xəbərlər ansamblını eyni ehtimallı 2 qrupa bölmək;
- 3) birinci qrupu 0-la, ikincini 1-lə işarə etmək;
- 4) hər qrupu eyni ehtimallı 2 alt qrupa bölmək;
- 5) alt qrupları 0 və 1-lə işarələmək;
- 6) işi hər qrupda 1 element qalanadək davam etdirmək lazımdır.

Bəri başdan göstərək ki, eyni ehtimallı xəbərlərin optimal kodu komplekt kod olur.

Ehtimallar $p_i = 2^{-i}$ sırasındırsa, optimal kod aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$\begin{aligned}
A_1 &\Rightarrow p_1 = \frac{1}{2} \Rightarrow 0 \\
A_2 &\Rightarrow p_2 = \frac{1}{4} \Rightarrow 10 \\
A_3 &\Rightarrow p_3 = \frac{1}{8} \Rightarrow 110 \\
A_4 &\Rightarrow p_4 = \frac{1}{16} \Rightarrow 1110 \\
A_5 &\Rightarrow p_5 = \frac{1}{32} \Rightarrow 11110 \\
A_6 &\Rightarrow p_6 = \frac{1}{64} \Rightarrow 111110
\end{aligned}$$

Göründüyü kimi, ehtimallar azaldıqca, kod sözü uzanır. Həm də bütün kod sözləri 0-la qurtarır. Bu, dekodlaşdırma üçün çox münasib koddur. Çünki, hər bir sıfır bir kod sözünün sonunu göstərir. Qeyri-bərabər ehtimallı halda alınan optimal kod müxtlif ölçülü olur və MÖK adlanır. Ən səmərəli MÖK aşağıdakı şərti ödəməlidir:

$$\log_2 m \sum_{i=1}^N p_i L(i) = L_{or} = H \quad (35)$$

Burada: N - 1-ci, m isə 2-ci əlifbanın simvolları; $L(i)$ - i -ci kod kombinasiyasının uzunluğu; p_i - $L(i)$ uzunluqlu kombinasiyada i -ci simvolun iştirakı ehtimalı; L_{or} - kod sözünün orta uzunluğu; H - mənbəyin entropiyasıdır.

2-lik kodlar üçün:

$$\sum_{i=1}^N p_i L(i) = \sum_{i=1}^N p_i \log_2 \frac{1}{p_i} \quad (36)$$

Çünki, $\log_2 2 = 1$. (36) bərabərliyindən:

$$L(i) = \log_2 \frac{1}{p_i}$$

alınır.

Əgər $p_i = 2^{-n_i}$ olarsa (n ixtiyari ədəd ola bilər), onda $L(i)$ kəmiyyəti H -a dəqiq bərabər olur. Əgər n birinci əlifbanın (N) bütün işarələri üçün tam ədəd deyilsə, onda $L_{or} > H$ olur ki, bu da mənbəyin entropiyasına təxmini yaxın olmaq deməkdir.

MÖK-un *səmərəliliyi* statistik sıxlaşdırma əmsalı ilə:

$$K_{ss} = \frac{H_{\max}}{L_{or}} = \frac{\log_2 N}{\log_2 m \sum_{i=1}^N p_i L(i)} \quad (37)$$

və nisbi səmərəlilik əmsalı ilə:

$$K_{ns} = \frac{H}{L_{or}} \quad (38)$$

müəyyən edilir.

Bu əmsal müxtəlif ehtimallı asılı olmayan hal üçün:

$$K_{ns} = \frac{\sum_{i=1}^N p_i \log \frac{1}{p_i}}{\log_2 m \sum_{i=1}^N p_i L(i)} \quad (39)$$

Müxtəlif ehtimallı, qarşılıqlı asılı simvollarla isə:

$$K_{ns} = \frac{\sum_{i,j} p_i p(b_j / a_i) \log_2 \frac{1}{p(b_j / a_i)}}{\log_2 m \sum_{i=1}^N p_i L(i)} \quad (40)$$

olur.

Blokda simvolların artması ilə kodlaşdırmanın səmərəliliyi sürətlə müəyyən həddə qədər artır. Lakin sonra bu sürət azalır. Blokda simvolların sayı 4-dən çox olduqda kodlaşdırıcı qurğuların mürəkkəbliyi kodlaşdırmanın səmərəliliyindən daha sürətlə artır ki, bu da mənfidir.

2.10. İnformasiya ötürən sistemin maneəyə davamlılığı, səmərəliliyi və etibarlılığı

İstənilən ötürmə sistemi *maneəyə davamlılıq, səmərəlilik və etibarlılıq* göstəriciləri ilə xarakterizə edilir.

Sistemin *maneəyə davamlılığı* dedikdə, rabitə xəttində maneələrin mövcud olduğu şəraitdə informasiyanı qəbul etmək *qabiliyyəti* nəzərdə tutulur.

Maneə - sistemə təsir edən və siqnalların düzgün qəbuluna əngəl törədən kənar həyəcanlanmadır. Maneələr: sənaye xarakterli, atmosfer, qanunauyğun, təsadüfi, xarici və daxili maneələr kimi növlərə bölünür.

Sənaye xarakterli maneələr müxtəlif dəzqah mühərriklərinin işləməsi ilə əlaqədardır. Şəhər elektrik şəbəkəsi də sənaye xarakterli maneə yaradır.

Atmosfer maneələrinə ildırım, toz və qar tufanları, şimal şəfəqi, antenadakı qırov və s. aiddir.

Qanunauyğun maneə müntəzəm maneədir və onunla mübarizə çətin deyil. Müntəzəm maneəyə qarşı siqnalların yığılması, aşkarlayıcı və səhv düzəldici kodların tətbiqi, siqnalın gücünün artırılması metodları tətbiq edilir.

Təsadüfi maneə ilə mübarizə aparmaq çətinidir. Təsadüfi maneə 2 növdür: *additiv və multiplikativ*. Siqnalla toplanan maneə *additiv maneədir*. Additiv maneə siqnal oldu-olmadı mövcud olur. Bunun təsiri aşağıdakı kəmiyyətlə xarakterizə edilir:

$$U_o(t) = U_s(t) + U_\xi(t) \quad (42)$$

Burada: $U_s(t)$ - siqnalın gərginliyi; $U_\xi(t)$ - maneənin gərginliyidir.

Multiplikativ maneələr yalnız siqnal ötürülərkən əmələ gəlir. Bunlar siqnalı ya son dərəcə gücləndirir, ya da olduqca zəiflədir. Bunun təsiri aşağıdakı kəmiyyətlə xarakterizə edilir:

$$U_m(t) = \omega \cdot U_s(t) \quad (43)$$

Burada: ω - rabitə kanalının parametrlərinin dəyişilməsini nəzərə alan əmsaldır.

Bu maneələr *xarici maneələrdir. Daxili maneələr* ötürücü-qəbuledici aparatlar tərəfindən yaranırlar.

Beləliklə, *eyni gücdə və eyni maneə şəraitində A sisteminin qəbul etdiyi siqnal ötürülən siqnala B sistemindəkinə nisbətən daha yaxındırsa, A sistemi B-yə nisbətən maneəyə daha davamlıdır.*

Maneəyə davamlılığın 2 növü var: *statik və dinamik.*

Statik maneəyə davamlılıq informasiyanın ötürülmədiyi vaxtda maneələrin yaratdığı yalan siqnalları ötürməkdən imtina etməyə imkan verir.

Dinamik maneəyə davamlılıq isə yararlı siqnalları uğultulardan ayırmaq qabiliyyəti kimi meydana çıxır.

Diskret sistemlərdə maneələr şəraitində a_i ötürüb, b_i qəbul etmək əvəzinə b_j alınır.

Sistemin maneəyə davamlılığı:

$$H = -(1 - p_{so}) \log(1 - p_{so}) - p_{so} \log p_{so} \quad (44)$$

kimi hesablanır. Burada: p_{so} - səhv qəbulun orta ehtimalıdır.

Bolluq artdıqca statik maneəyə davamlılıq artsa da, ötürmə sürəti azalır və kod optimallıqdan çıxır.

Ötürmə sisteminin səmərəliliyi anlayışı müəyyən maneəyə davamlılıq səviyyəsini təmin etmək məqsədi ilə kodların mürəkkəbləşdirilməsi həddini müəyyənləşdirmək üçün işlədilir.

Eyni tezlik zolağında və eyni güclü xəbəri daha tez ötürən sistem daha səmərəlidir.

Xəbərdəki bolluq azaldıqca, ötürmə sisteminin səmərəliliyi artır.

Bolluğun məqsədəuyğun minimal həddi ötürmə sürətinin buraxıcılıq qabiliyyətinə bərabər olduğu halda alınır. Çünki bolluğun sonrakı azaldılması maneəyə davamlılığı aşağı salır.

Simvollar müxtəlif ehtimalı, lakin eyni güclü olduqda bolluğu azaltmadan da səmərəliliyi artırmaq mümkündür. Lakin bu zaman maneəyə davamlılıq artmır.

Səmərəliliyi kəmiyyətcə ölçmək üçün:

Rabitə kanalından istifadə əmsalından:

$$\eta = \frac{R}{C} \quad (45)$$

və ***ötürmə əmsalından:***

$$\mu = \frac{R}{H} \quad (46)$$

istifadə edilir.

Burada: R - ötürmə sürəti; C - buraxıcılıq qabiliyyəti; H - mənbəyin entropiyasıdır.

Etibarlılıq maneəyə davamlılıq və səmərəliliklə sıx bağlıdır.

Səmərəlilik artanda maneəyə davamlılıq azalır.

Maneəyə davamlılıq və səmərəlilik eyni zamanda artanda sistem mürəkkəbləşir və bunun nəticəsində etibarlılıq azalır.

Ötürmə sisteminin etibarlılığı dedikdə, müəyyən vaxt ərzində sistemin imtinasız işləmə qabiliyyəti nəzərdə tutulur.

Ötürmənin etibarlılığı ilə bütövlükdə rabitənin etibarlılığını qarışdırmaq olmaz. Çünki ***ötürmənin etibarlılığı*** - aparatların saz işləməsi şərtində düzgün ötürmə ehtimalıdır. Bu zaman alınan səhv yalnız uğultu nəticəsində alınır. ***Rabitənin etibarlılığı*** isə - maneələr nəzərə alınmaqla, xəbərin düzgün qəbulu ehtimalıdır.

Rabitənin etibarlılığı rabitə sistemini, ötürmənin etibarlılığı isə kodlaşdırma üsulunu xarakterizə edir.

Təcrübə göstərir ki:

- real imkanlardan kənara çıxan texniki tələbatlar əsaslandırılmadıqda;
- rabitə kanalında kodlaşdırma metodu düzgün seçilmədikdə;
- pis layihələşdirildikdə;
- elementlər düzgün tətbiq edilmədikdə;
- sxem və xidmətçi heyətin həddən artıq yüklənməsinə səbəb olan mürəkkəb aparatlardan istifadə edildikdə;
- həddən artıq universallaşdırmağa cəhd edildikdə;
- kompleks layihələşdirmə aparılmadıqda;
- ucuz və keyfiyyətsiz materiallardan istifadə edildikdə;
- xidmətçi heyət zəif öyrədildikdə —etibarlılıq səviyyəsi aşağı olur.

2.11. Uğultulu diskret rabitə kanalında ötürülən informasiyanın miqdarının hesablanması

Fərz edək ki, eyni ehtimallı 2 a_1 və a_2 siqnalı ötürülür. Yəni, $p(a_1) = p(a_2) = 0,5$. Maneə yoxdursa, uyğun olaraq b_1 və b_2 siqnalları alınmalıdır. Alınan siqnallar da eyni ehtimallıdır. Maneə olduqda həm siqnalda, həm də ehtimalda müəyyən təhriflər baş verir. Maneə çox olduqca ötürülən siqnalla qəbul edilən siqnal arasında statistik əlaqə bir o qədər zəif olur.

Ümumi halda, m dənə A siqnalı ötürüb, m dənə də B siqnalı gözləyiriksə, maneənin təsiri kanal matrisi ilə təsvir ediləcəkdir:

$A \setminus B$	b_1	b_2	...	b_j	...	b_m
a_1	$p(b_1 / a_1)$	$p(b_2 / a_1)$	...	$p(b_j / a_1)$	...	$p(b_m / a_1)$
a_2	$p(b_1 / a_2)$	$p(b_2 / a_2)$	...	$p(b_j / a_2)$	...	$p(b_m / a_2)$
...
a_i	$p(b_1 / a_i)$	$p(b_2 / a_i)$	...	$p(b_j / a_i)$	...	$p(b_m / a_i)$
...
a_m	$p(b_1 / a_m)$	$p(b_2 / a_m)$	...	$p(b_j / a_m)$	...	$p(b_m / a_m)$

Diaqonalda yerləşən ehtimallar düzgün qəbul ehtimalıdır.

Kanal matrisindəki ehtimallar baş diaqonaldan uzaqlaşdıqca kiçilir və maneə olmadıqda onların hamısı sıfır olur. Kanal matrisinin hər bir sətrindəki ehtimalların cəmi 1-ə bərabərdir. Yəni ötürülən hər bir siqnal üçün qəbuledicidə hökmən bir siqnal (düz və səhv) alınmalıdır. Yaxud da əgər qəbuledici hər hansı bir siqnal qəbul edibsə, belə fərz edilir ki, ötürücü hökmən öz tezaursundakı siqnallardan birini ötürmüşdür.

Beləliklə, maneənin riyazi modeli şərti entropiya düsturlarına əsaslanır.

2.12. Uğultu şəraitində kodlaşdırma haqqında Şennon teoremi

Maneəli kanalın buraxıcılıq qabiliyyəti:

$$C_n = n[H(A) - H(A/B)] \quad (47)$$

kimi hesablanır. Burada: n - qəbul edilən işarələrin sayıdır.

(47) düsturundan aydınca görünür ki, $H(A)$ və $H(B)$ böyük olduqca kanalın buraxıcılıq qabiliyyəti də böyük olur. Bu entropiyaların maksimal qiyməti isə eyni ehtimallı asılı olmayan halda alınır. Lakin maneə müxtəlif simvollara müxtəlif cür təsir edə bilər. Bu halda maneəyə daha davamsız sivolları kanalın girişinə daha tez-tez vermək lazım gəlir. (47) düsturu həmçinin

onu da aydınlaşdırır ki, buraxıcılıq qabiliyyətini şərti entropiyanın azaldılması hesabına da artırmaq olar. İdeal halda, şərti entropiyanın qiyməti sıfır olduqda real kanalın buraxıcılıq qabiliyyəti uğultusuz kanalın buraxıcılıq qabiliyyətinə bərabər olur:

$$C_n = nH(A) \quad (48)$$

Uğultulu kanalda gedən proseslərə bir qədər ətraflı baxaq.

Fərz edək ki, kanaldan istifadə müddəti (xəbərin uzunluğu) T , vahid vaxtda ötürülən simvolların sayı n -dir. Bu halda T müddətində ötürülən simvolların sayı $nTH(A)$, ardıcıl ötürülən yüksək ehtimallı siqnalların sayı $2^{nTH(A)}$, ardıcıl qəbul edilən yüksək ehtimallı siqnalların sayı $2^{nTH(B)}$, b siqnalının qəbuluna səbəb olan ardıcıl ötürülən yüksək ehtimallı a siqnallarının sayı $2^{nTH(A/B)}$, a siqnalının ötürülməsi nəticəsində ardıcıl qəbul edilməsi mümkün olan yüksək ehtimallı b siqnallarının sayı $2^{nTH(B/A)}$ kimi hesablanacaqdır. Fərz edək ki, a_i siqnalını ötürərkən b_j siqnalını almalıyıq: $\{a_i\} \Rightarrow \{b_j\}$

Lakin maneəli kanalda başqa siqnal da alınə bilər. Buna baxmayaraq gerçək ötürməni təmin etmək həmişə mümkündür. Bunun üçün çoxsaylı sınaqlar keçirmək kifayətdir. Fərz edək ki, $a_i=01011$ -kodu ilə ötürülür. Maneə nəticəsində bu kodun simvollarından biri səhv gedə bilərsə, b_j xəbəri üçün aşağıdakı kod variantları alınə bilər: $\{a_i\} \Rightarrow \{b_j\}$

01011→11011

01011→00001

01011→01111

01011→01001

01011→01010

Eyni zamanda, 2 simvolun səhv gedəcəyi ehtimalı xeyli azdır. Nəzəri olaraq mümkün olsa da, ötürülən kod simvollarının hamısının səhv alınacağı ehtimalı təxminən sıfıra bərabərdir. Ona görə də 01011 kodu ötürülərkən alınan kod qrupları qəbul olunan yüksək ehtimallı ardıcıl kodlar kimi götürülə bilər. Məsələn, 5 rəqəmini 100 dəfə ötürməklə, görürük ki, qəbul edildə 5 rəqəmi 85 dəfə, 6 rəqəmi 10 dəfə, 4 rəqəmi 3 dəfə, 3 və 7 rəqəmləri isə 1 dəfə qəbul olunmuşdur. Bu, o deməkdir ki, 5 rəqəmi ötürülərkən 5-3, 5-4, 5-5, 5-6, 5-7 keçidləri mümkün olsa da, düzgün ötürmə ehtimalı 0,85-dir.

Beləliklə, siqnalın düzgün ötürülməsi ehtimalı:

$$p = 2^{nT[H(A)-H(A/B)]} \quad (49)$$

kimi hesablanacaqdır.

Bu halda səhvsiz qəbul ehtimalı da:

$$p = (1 - 2^{nT[H(A)-H(A/B)]}) \cdot 2^{nTH(A/B)} \quad (50)$$

kimi hesablanacaqdır. Burada: $1 - 2^{nT[H(A)-H(A/B)]}$ - səhv qəbul ehtimalıdır.

Beləliklə, uğultulu kanalda kodlaşdırma haqqında Şennon teoremi aşağıdakı kimi ifadə edilir: *əgər mənbə rəqəmlərinin buraxılış qabiliyyətindən kiçik olan sürətlə $H(A)$ entropiyalı informasiya hasil edib, uğultulu kanalın girişinə verirsə, onda qəbul məntəqəsində mümkün qədər kiçik ehtimallı səhvlər əmələ gəlməsini təmin edən kod mövcuddur.*

Lakin bu teorem həmin kodu necə qurmağın yolunu göstərmir.

2.13 İnformasiyanın ötürülməsinin etibarlılığının yüksəldilməsi metodları

2.13.1. Aşkarlayıcı kodlar və səhvlərin düzəldilməsi

Maneəli rabitə kanalında informasiyanın ötürülməsi problemləri kodlaşdırma qarşısında əlavə tələblər qoyur. Sıqnal səviyyəsinin maneə səviyyəsi üzərində müəyyən həddə qədər yüksəldilməsi üçün *simolların sayının artırılması və onların ötürülmə vaxtının uzadılması, xəbərin bütövlükdə təkrarlanması, siqnalın gücünün artırılması və s.* kimi bu və ya digər bolluq növündən istifadə etmək lazım gəlir ki, bu da aparatların mürəkkəbləşməsinə və bahalaşmasına səbəb olur. Aparatlar mürəkkəbləşdikcə daha tez-tez imtinalar baş verir. Bu isə rabitə sisteminin etibarlılığını aşağı salır. Odur ki, rabitə sisteminin etibarlılığı:

$$Q = (p_{dg} \cdot p_{ap})^{-1} \quad (51)$$

kimi hesablanır. Burada: p_{dg} - siqnalın düzgün qəbulu ehtimalı; p_{ap} - aparatların imtinasız iş ehtimalıdır. Nəzəri olaraq istənilən maneələr səviyyəsində siqnalı kifayət qədər dəqiq ötürmək mümkündür. Lakin bu zaman aparatların etibarlılığı və iqtisadi səmərəliliyi hökmən nəzərə alınmalıdır.

Ayrı-ayrı simvolların qəbulu etibarlılığını yüksəltməklə rabitə sisteminin də etibarlılığını yüksəltmək mümkündür. Buna nail olmaq üçün, məsələn, siqnalın gücünü artırmaq, siqnalı uzatmaq və xüsusi kodlaşdırma metodundan istifadə edərək bütövlükdə xəbər qəbulunun etibarlılığını yüksəltmək kimi üsullardan istifadə etmək olar. Simvolun ötürülmə vaxtının uzadılması aparatları mürəkkəbləşdirmədən etibarlılığı artırmağa imkan verdiyindən, xeyli böyük maraq doğurur.

Qəbuledici-yığıcıda uzadılmış siqnalın seçilməsi (süzülməsi) üçün integrator və müqayisə sxemi elə qurulmalıdır ki, T müddətində eyni ehtimallı $U_1(t)$ və $U_2(t)$ siqnallarının biri ötürülüb, $f(t)$ siqnalı qəbul edilibsə,

$$\int_0^T [U_1(t) - f(t)]^2 dt < \int_0^T [U_2(t) - f(t)]^2 dt \quad (52)$$

şərti ödənməlidir ki, qəbul olunmuş siqnalın məhz $U_1(t)$ olduğunu yəqin etmək mümkün olsun. Bu cür siqnalları fərqləndirə bilən qəbuledici *ideal Kotelnikov qəbuledicisi* adlanır. (52) şərti aydın göstərir ki, qəbul edilmiş siqnal daha uzun olan siqnal sayılır.

Kotelnikov qəbuledicisinin köməyi ilə yararlı siqnalın uğultudan süzülməsi (seçilməsi) ideyası ondan ibarətdir ki, integrator siqnalla uğultunu toplayır. Bu şəraitdə siqnal uzadıqca maneənin səviyyəsi sıfıra yaxınlaşır. Siqnalın səviyyəsi isə bu zaman sıfırdan fərqli və sabit olur. Buna görə də integratorda siqnalın səviyyəsi uğultunun azalması nisbətində artır və nəticədə qəbulun etibarlılığı yüksəlir.

İndi də siqnalların qrup şəklində qəbulu zamanı etibarlılığın yüksəldilməsi metodlarına baxaq.

İstənilən kod, onun təsviri üsulundan asılı olmayaraq, praktiki surətdə aşkarlayıcı kod kimi səhvlərin aşkarlanmasında və düzəldilməsində istifadə edilə bilər. Bir sıra aşkarlama və səhv düzəltmə metodları vardır. Bunlardan ən sadəsi çoxsaylı təkrarlama metodudur. Bu halda düzgün ötürmə bir növ verilişlərin, məsələn 1-lərin yığılması yolu ilə aşkar edilir. Bodo-Verden teleqraf sistemi bu prinsipdə işləyir. Bodo-Verden kodu 5 işarəli, komplekt koddur.

Fərz edək ki, keyfiyyət əlaməti 1—müsbət impulsdur və sistem müsbət impulsları yığır.

Tutaq ki, 10110 kodu ötürülmüşdür. Maneə nəticəsində baş verən təhriflər yığma yolu ilə aşağıdakı qaydada aradan qaldırılır:

- 10100 - birinci qəbul
- 10010 - ikinci qəbul
- 00110 - üçüncü qəbul
- 10110 - yığılmış kod

Bodo-Verden sisteminin nöqsanı odur ki, ikitərəfli keçiddən müdafiə yoxdur. Yəni bu sistem yalnız 0 1-ə və ya 1 0-a çevrildikdə işləyə bilər. Eyni zamanda hər iki keçidi nəzərə ala bilmir.

Telemexanikada rəqəm müdafiəsi deyilən metoddan geniş istifadə edilir ki, bu da aşkarlayıcı kod kimi tətbiq edilə bilər. Belə ki, 5 işarəli Bodo kodunda ya 0, ya da 1-lər cüt olur. Əgər A hərfinin koduna (10000) 1, V hərfinin koduna (00110) 0 əlavə etsək, hər iki kodda 0 və 1-lər cüt olacaqdır. Təhrif baş verən kimi cütlük pozulacaq və müdafiə imtinası baş verəcəkdir. Bodo kodunun bütün kombinasiyalarına uyğun 0 və 1-ləri əlavə edərək, cütə yoxlayan bir səhvi aşkarlayan kod yaratmaq olar. Cüt olub-olmamağı yoxlamaq fiziki cəhətdən çox asandır. Bodo kod kombinasiyalarında 0 və 1-lərin cüt olduğu kodları seçib 2 dənə aşkarlayıcı kod almaq olar. Belə olduqda hər bir kombinasiya digərindən azı 2 simvolla fərqlənir. Baxdığımız ilk aşkarlayıcı kod 6 işarəli, 32 mövqelidir. Yarıya bölünmüş Bodo kodu isə 5 işarəli olsa da cəmi 16 mövqelidir.

Beləliklə, 1 səhvi aşkarlamaq üçün kod kombinasiyaları azı 2 simvolla fərqlənməlidir.

Bolluqsuz (optimal) kodlar aşkarlayıcı kod kimi istifadə edilə bilmir. Çünki kodun aşkarlayıcı olması üçün ona simvol əlavə edilməlidir.

Aşkarlayıcı kod tərtib etmək üçün əlavə edilən simvolların sayı: $d = r + 1$ kimi təyin edilir. Burada: r - aşkarlanası səhvlərin sayıdır. Yəni 1 səhvi aşkarlamaq üçün kod məsafəsi (d) 2 olmalıdır.

İndi isə *səhv düzəldən kodlara* baxaq. Bu cür kodun qurulması ideyasını aşağıdakı həndəsi modellə təsvir etmək olar:

Göründüyü kimi, bu, 3 işarəli 2-lik koddur. Kubun hər bir təpə nöqtəsi üçün kod kombinasiyası aşağıdakı kimi tərtib edilir: əgər kubun təpəsinin ox üzərindəki proyeksiyası 0-dırsa, 0-la işarə edilir. Məsələn, hər hansı nöqtə X oxuna nəzərən 1, $Ü$ oxuna nəzərən 0 və Z oxuna nəzərən 1 mövqeyindədirsə, bu nöqtənin kodu 101-dir.

Kubun hər bir təpəsi üçün 3 elə təpə var ki, onlar həmin təpədən 1 addım aralıdır. Hər bir təpə üçün 2 addım aralı 3 təpə də var. Hər təpədən 3 addım aralıda isə yalnız 1 təpə vardır.

Qonşu kod kombinasiyaları arasındakı məsafəyə *kod məsafəsi* deyilir. Kod məsafəsi — kodun maneəyə davamlılığını xarakterizə edən parametr olub, kodun bolluğudur. Kod məsafəsi həmçinin kodun korrektəedici xassəsini də müəyyən edir. Kod məsafəsi $d = 1$ -dirsə, bu o deməkdir, kodun bolluğu sıfırdır və belə kod aşkarlayıcı kod deyil. $d = 2$ -dirsə, bu, 1 səhvi aşkarlaya bilən koddur. Lakin 1 işarəni düzəltmək üçün $d = 3$ olmalıdır. Beləliklə, 1 səhvi düzəldə bilən kodlar kubun əks tərəflərində yerləşən *peyk kodlardır*: 000—111; 010—101; 001—110; 011—100.

Peyk kodlarla səhvin düzəldilməsi ideyası ondan ibarətdir ki, koddə təhrif baş verən kimi, o, qonşu kombinasiya ilə eyniləşir.

Əgər A - 00000, B - 00111 və C - 11100 kimi kodlara malikdirsə, bunların hər birində baş verən təhrif asanca müəyyən edilir. Çünki, burada kod məsafəsi $d \geq 3$ -dür.

İki kod kombinasiyası arasındaki kod məsafəsini təyin etmək üçün onları 2 modulu üzrə toplamaq kifayətdir. Cəmdəki 1-lər kod məsafəsini göstərəcəkdir. Məsələn:

```
1001101110
1101011101
-----
0100110011
```

Göründüyü kimi, eyni simvolla mərtəbələrə 0, müxtəlif simvolla mərtəbələrə 1 düşür.

Beləliklə, baxdığımız misalda $d = 5$ -dir.

Səhvin eyni zamanda aşkarlanıb düzəldilməsi üçün kod məsafəsi: $d = r + s + 1$ kimi hesablanır. Burada: s - düzəldiləsi səhvlərin sayıdır.

Əgər yalnız səhvlərin düzəldilməsinə əsaslansaq, kod məsafəsi: $d = 2s + 1$ kimi hesablanmalıdır.

Müasir dövrdə istənilən sayda səhv aşkar edib düzəldə bilən çoxsaylı kod tətbiq edilir.

Bölmə 3. Qənaətcil kodlaşdırma sistemləri

3.1. Qənaətcil kodlaşdırma haqqında ümumi məlumat

İnsan fəaliyyətinin bütün sahələrində yığılan informasiyanın durmadan artması ilə əlaqədar olaraq, onu yığcam şəkildə göstərmək üçün yeni texnologiyanın əldə olunması çox əhəmiyyətliyə malikdir. İnformasiyanın yığcam şəkildə göstərilməsi dedikdə, informasiya daşıyıcılarında tutduğu yer nöqtəyi-nəzərindən qənaətlə informasiyanın saxlanması forması başa düşülür. İnformasiya daşıyıcısı istənilən substansiya – insan beyni, hesablama maşınının yaddaşı, yaxud sadə kağız vərəq ola bilər. Biz informasiya daşıyıcısına ancaq nə işə bir real obyekt haqqında informasiya saxlayıcısı deməyi öyrəşmişik. İş ondadır ki, informasiya müstəqil olaraq daşıyıcılardan kənarında mövcud deyil.

İnformasiya daşıyıcısının məzmunudur: informasiya almaq – onun daşıyıcısını “oxumaq” deməkdir. Beləliklə, nə zaman söhbət informasiyanın yığcam göstərilməsi metodları haqqında gedirsə, o zaman hər şeydən əvvəl, onun daşıyıcısının vəziyyətini dəyişmək nəzərdə tutulur.

İnformasiyanın yığcam göstərilməsi qaydası qənaətlə kodlaşdırma adlanır. 1837-ci ildə ilk qənaətlə kodlaşdırma alqoritmini **Semuel Morze** təklif etmişdir. Lakin informasiyanın qənaətlə kodlaşdırılması texnologiyasının inkişafı informasiya nəzəriyyəsinin yarandığı XX əsrin 40-cı illəri hesab olunur.

1837-ci ildə amerikalı **Semuel Morze** informasiyanı müəyyən məsafəyə göndərə bilən ilk texniki vasitəni – teleqrafı ixtira etmişdir. Teleqraf məlumatları – bir teleqraf aparatından məftül vasitəsilə digər teleqraf aparatına ötürülən elektrik siqnalları ardıcılığıdır. İxtiraçı Semuel Morze təəccüblü kodlar (Morze əlifbası, Morze kodları) icad etmişdir. **İnformasiya 3 simvolla kodlaşdırılır: uzun siqnal (tire), qısa siqnal (nöqtə) və hərflərin**

ayrılması üçün **siqnalın olmaması (pauza)**. Beləliklə, kodlaşdırma ciddi müəyyən edilmiş qaydada, simvollar yığımından istifadə etməklə aparılır. Ən məşhur teleqraf məlumatı “SOS”³ yoxsulluq siqnalıdır.

3.2. Müxtəlif ölçülü kodlar

Morze əlifbasında müxtəlif simvolların kod uzunluqlarının dəyişkən olması onun xarakterik xüsusiyyətini müəyyən edir. Mətnə hərdənbir rast gəlinən həriflərə nisbətən, tez-tez rast gəlinən həriflər daha qısa kodlara malikdir. Bu bütün məlumatın uzunluğunu qısaltmaq üçün edilir. Kodların müxtəlif ölçülü olması, mətnə hərflərin bir-birindən ayrılmasında problem yaradır. Buna görə, ayırma üçün puzadan istifadə olunur. Beləliklə, Morze əlifbasında üç işarədən istifadə olunur:

nöqtə, tire, pauza (məs. – • – – • • – – • • –).

3.3. İlk məftilsiz teleqraf (radio qəbuledici)

7 may 1895-ci ildə rus alimi Aleksandr Stepanoviç Popov Rusiyanın Fizika-Kimya cəmiyyətinin iclasında “*ıldırımölçən*” cihazı nümayiş etdirdi, hansı ki, *elektrik dalğalarını* qeyd etmək üçün təyin olunmuşdur. Bu cihaz dünyada ilk məftilsiz teleqraf, radioqəbuledici aparat hesab olunur. 1897-ci ildə bu aparatın köməyi ilə Popov sahillə hərbi gəmilər arasında məlumatın ötürülməsi və qəbulunu həyata keçirmişdir.

³ Save Our Souls – bizi qoruyun

3.4. Bodun teleqraf aparatı

XIX əsrin sonlarında fransız Jan Moris Bod bərabərölçülü teleqraf kodlarını ixtira etmişdir. Onda iki müxtəlif növ siqnalardan istifadə olunurdu. Onları necə adlandırmaq əhəmiyyətli deyil: nöqtə və tire, plus və minus, 0 və 1. Bu iki bir-birindən fərqlənən elektrik siqnallarıdır. **Bütün simvolların kodları eyni uzunluqdadır və 5-ə bərabərdir.**

Bu halda hərfləri bir-birindən ayırmaq problemi olmayacaq: hər bir 5 siqnal – mətnin işarəsidir. Əgər bütün simvolların kodlarının uzunluğu bərabərsə, onda kodlar eyniölçülü adlanır.

Bod kodları – texnika tarixində ilk dəfə olaraq informasiyanın **ikilik kodlaşdırma** üsulu hesab olunur. Bu ideya sahəsində yazı makinasına oxşar olan hərf çap edən teleqraf aparatı yaradıldı. Müəyyən hərfə uyğun düyməni basdıqda, rabitə xəttinə ötürülən 5 impulsu siqnal hazırlanır.

Bodun şərafinə 1 vahid informasiyanın **ötürülmə sürətini bod adlandırmışlar: $1_{\text{bod}}=1_{\text{bit/san}}$ (bps).**

Müasir kompüterlərdə mətnləri kodlaşdırmaq üçün bərabərölçülü ikilik kodlar tətbiq olunur.

3.5. Kompüterdə ikilik kodlaşdırma

Kompüterdə emal olunan bütün informasiyaları 2-lik kodlarla göstərmək lazımdır. Bu iki simvolu 2-lik rəqəmlər yaxud bitlər adlandırmaq qəbul olunur. 0 və 1 rəqəmlərinin köməyi ilə istənilən məlumatları kodlaşdırmaq olar. Bu kompüterdə iki əsas prosesin təşkil olunmasına səbəb olur: kodlaşdırmaya və dekodlaşdırmaya.

Kodlaşdırma – giriş informasiyasını kompüterin qəbul etdiyi formaya çevrilməsidir, yəni ikilik koda.

Dekodlaşdırma – məlumatları ikilik koddan, insanın başa düşdüyü formaya dəyişdirilməsidir.

Nə üçün ikilik kodlaşdırma?

Texniki reallaşdırma nöqtəyi-nəzərindən ikilik hesablaşma sistemindən istifadə etmək informasiyanı kodlaşdırmaq üçün olduqca sadədir. Həqiqətən, informasiyanı 0 və 1 ardıcılığı şəklində kodlaşdırmaq əlverişlidir. Əgər bu qiyməti elektron elementin iki mümkün vəziyyəti kimi göstərmək mümkündürsə.

0 – elektrik siqnalı yoxdur;

1- elektrik siqnalı mövcuddur.

Bu vəziyyəti asanlıqla fərqləndirmək olur. İkilik kodlaşdırmanın çatışmayan cəhəti – kodların uzunluğudur.

Kompüterdə informasiyanın kodlaşdırılması və dekodlaşdırılması üsulları, ilk növbədə informasiyanın növündən asılıdır, yəni nə kodlaşdırılır: ədəd, mətn, şəkil yaxud səs.

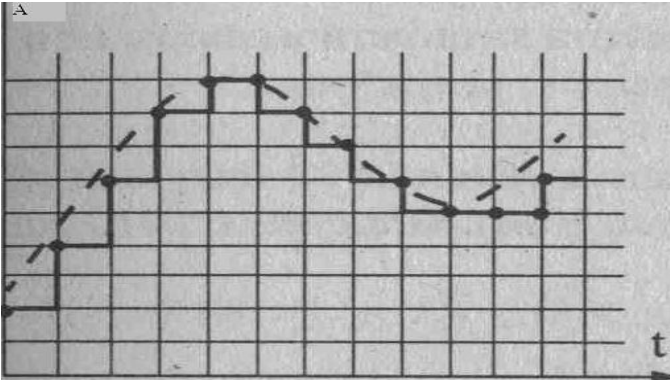
3.6. Məlumatları şifrələmə

Bir sıra hallarda sənədləri məxfiləşdirmək tələb olunur. Bu ona görə edilir ki, sənəd kimə aid deyilsə onu oxuya bilməsin. Bu icazə verilməyən daxil olmalardan müdafiə adlanır. Bu halda məxfi mətnlər **şifrələnir**. Əvvəlki vaxtlarda şifrələmə kriptografiya adlanırdı.

Şifrələmək açıq mətnlərin şifrələnməsi prosesini özündə əks etdirir, **şifri açma** isə çevirmənin əks prosesidir, hansı ki, ilkin mətn bərpa olunur. **Şifrələmək** – gizli metodlarla kodlaşdırma. Bu kod ancaq mənəbəyə və göndərilən ünvan sahibinə məlumdur. Şifrələmə metodu ilə məşğul olan elm sahəsi **kriptografiya** adlanır.

3.7. İnformasiyanın növləri

İnformasiyaları digər xüsusiyyətlərinə görə iki növə ayırmaq olar: *diskret (rəqəm sistemi) və kəsilməz (analogiya)*. Diskret informasiya kəmiyyətin bəzi dəqiq qiymətlər ardıcılığını, kəsilməz informasiya isə - kəmiyyətin kəsilməz dəyişmə prosesini xarakterizə edir. İnsanın işləməsi üçün diskret informasiya əlverişlidir. Lakin praktiki işlərdə çox vaxt kəsilməz informasiyaya rast gəlinir. Buna görə kəsilməz informasiyanı diskretə və əksinə çevirməni bacarmaq lazımdır. Modem belə çevirmə üçün yaradılan qurğudur: o, kompüterdən rəqəm məlumatlarını səsə yaxud elektromaqnit dalğalarını səsə çevirir və əksinə.



Kəsilməz informasiyanı diskretə çevirdikdə əsas, kəsilməz kəmiyyətin ölçülən qiymətləri arasında dövrü ($T=1/\gamma$) müəyyən edən, *diskretləşmə tezliyi* γ adlanan kəmiyyətdir. Diskretləşmə tezliyi γ nə qədər yüksək olsa, kəsilməz informasiyanın diskretə çevrilməsi bir o qədər dəqiq olar. Lakin bu tezlik artıqca, diskret məlumatlar da artacaq və nəticədə onların saxlanması, emalı, ötürülməsi çətinlik yaradacaqdır. Amma diskretləşmənin dəqiqliyini artırmaq üçün onun tezliyini hədsiz artırmaq o qədər də va-

cib deyil. Bu tezliyi düşünərək seçim haqqında teoremdə müəyyən olunan həddə qədər artırmaq lazımdır. Bu teorem Kotelnikov yaxud Naykvist qanunu adlandırılır.

İstənilən kəsilməz kəmiyyət bir-birinə daxil olan dalğavari proseslər çoxluğu kimi təsvir olunur və $A\sin(\omega t + \varphi)$ şəklində funksiya ilə göstərilir, burada A – *amplituda*, ω - *tezlik*, t - *vaxt*, φ - *fazadır*.

Seçim haqqındakı teorem təstiq edir ki, dəqiq diskretləşmə üçün onun tezliyi, diskretləşmə kəmiyyətinə daxil olan ən böyük rəqsin tezliyindən ən azı iki dəfə çox olmalıdır.

Buna teoremdən istifadəyə misal olaraq, səs informasiyası rəqəm formasında saxlanılan lazer kompakt – diskini göstərmək olar. İnsan qulağı 20 KHz qədər tezlikdə olan səsləri fərqləndirmə qabiliyyətinə malikdir. Buna görə də səsləri böyük tezliklə dəqiq yazmağın mənası yoxdur. Seçim haqqında teoremə uyğun olaraq lazer kompakt – diskində diskretləşmə tezliyini ən azı 40 KHz götürmək lazımdır.⁴

3.8. Diskret məlumatlar

Tutaq ki, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_M\}$ M elemenindən ibarət çoxluqdur. Böyük latın hərfləri X, Y və s. çoxluğun özünü, kiçik hərflərlə isə çoxluğun elementlərini işarə edəcəyik. Bəzən çoxluğun elementlərini sətiraltı indekslərlə təmin edirlər. Belə indekslər çoxluqda elementin nömrəsini göstərir.

Əgər sonlu X çoxluğunun hər bir $x_i \in X$ elementinə, $p(x)$ ədədi qarşı qoyularsa, onda X çoxluğunda $p(x)$ ehtimallı paylanması verilmişdir, yəni

⁴ sənaye standartında istifadə olunan kompakt – disklərin tezliyi 44.1 KHz

$$p(x_i) \geq 0, i = 1, 2, \dots, M, \quad (1.1)$$

$$\sum_{i=1}^M p(x_i) = 1.$$

Tutaq ki, X çoxluğuda A altçoxluğu verilmişdir, $A \subseteq X$. $\Pr(A) = \sum_{x_i \in A} p(x_i)$ ədədi özündə X çoxluğundan təsadüfi seçilmiş

məlumatların həm də A altçoxluğuna aid olması ehtimalıdır. $\Pr(A)$ ədədi həmçinin A altçoxluğunun ehtimalıdır.

Misal 1. Tutaq ki, X zərin atılması haqqında məlumatlar çoxluğudur. Onda $X = \{x_1, x_2, \dots, x_6\}$, $p(x_i) = 1/6, i = 1, 2, \dots, 6$, bununla belə x_i, i xalının düşməsi haqqında məlumatdır. Əgər $A = \{x_2, x_4, x_6\}$, onda $\Pr(A) = 3 \cdot 1/6 = 1/2$ atılan zərin cüt ədəd düşməsi ehtimalıdır.

Tərif 1. Sonlu X çoxluğu, onda verilmiş $p(x)$ ehtimal paylanması ilə birlikdə *diskret məlumatlar çoxluğu* adlanır və $\{X, p(x)\}$ işarə olunur.

Tutaq ki, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_M\}$ və $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_N\}$ iki sonlu çoxluqdur. Elementləri bütün mümkün nizamlanmış cüt-lər $(x_i, y_j), x_i \in X, y_j \in Y, i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N$, olan çoxluğa **X və Y çoxluqlarının hasili** deyilir və **XY** kimi işarə olunur. Bu tərifə əsasən XY və YX müxtəlif çoxluqlardır. Əgər X və Y çoxluqları üst – üstə düşərsə, yəni, $X=Y$, onda XY hasilini X^2 kimi işarə etmək olar. İkidən artıq çoxluqların hasili buna analoji şəkildə müəyyən olunur: $X_1 X_2 \dots X_n$ hasili, bütün $(x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(n)})$ ardıcılıqlar çoxluğunu özündə göstərir, belə ki, birinci element $x^{(1)} \in X_1$, ikinci $x^{(2)} \in X_2$ və s. n -ci element $x^{(n)} \in X_n$ daxildir. Əgər bütün çoxluqlar üst-üstə düşərsə, onda belə hasil X^n kimi işarə olunur. Beləliklə, X^n – X elementlərindən düzəldilmiş, uzunluqları n olan bütün ardıcılıqlar çoxluğudur.

Tutaq ki, XY iki sonlu X və Y çoxluqlarının hasilidir və bu çoxluqda $p(x,y)$ birgə ehtimal paylanması verilmişdir. Bu zaman aşağıdakı münasibət doğrudur:

$$p_1(x_i) = \sum_{y_j \in Y} p(x_i, y_j), i = 1, 2, \dots, M, \quad (1.2)$$

$$p_2(y_j) = \sum_{x_i \in X} p(x_i, y_j), i = 1, 2, \dots, N, \quad (1.3)$$

Burada: $p_1(x)$ və $p_2(y)$, X və Y çoxluqlarında ehtimal paylanmasıdır.

Beləliklə, $\{XY, p(x, y)\}$ məlumatları verildikdə, faktiki olaraq $\{X, p_1(x)\}$ və $\{Y, p_2(y)\}$ məlumatları da verilir. Bəzən $\{XY, p(x, y)\}$ məlumatı gördükdə, biz deyəcəyik ki, X və Y məlumatları **birgə verilmişdir**. Əgər X və Y çoxluqlarının hasilinin paylanması $p(x_i, y_j) = p_1(x_i)p_2(y_j)$, $x_i \in X, y_j \in Y$ (1.4) şərtini ödəyərsə, onda X və Y məlumatları **statistik asılı** deyillər. Əks halda, deyəcəyik ki, bu məlumatlar **statistik asılıdırlar**.

Tutaq ki, $\{XY, p(x, y)\}$ məlumatı verilmişdir, fərz edək ki, x_i X çoxluğunun elə elementidir ki, onun üçün $p_1(x_i) \neq 0$.

$$p(y_j | x_i) = \frac{p(x_i, y_j)}{p_1(x_i)} \quad (1.5) \quad \text{ədədi } x_i \text{ məlumatı məlum olduqda, } y_j \text{ məlumatının şərti ehtimalı adlanır.}$$

Tutaq ki, $A \subseteq X$ belə ki, $\Pr_1(A) = \sum_{x \in A} p_1(x) \neq 0$, $p_1(x)$

$$(1.2) \text{ formulu ilə müəyyən olunur. } p(y_j | A) = \frac{1}{\Pr_1(A)} \sum_{x_i \in A} p(x_i, y_j)$$

(1.6) ədədi x_i məlumatının A çoxluğuna daxil olması şərti ilə y_j məlumatının şərti ehtimalı adlanır.

Markov prosesi. Fərz edək ki, iki düzgün olmayan metal pul vardır. Əvvəlcə bəxtə-bəxt iki puldan biri seçilir.

Əgər bu pulu göyə atmaq nəticəsində y_1 düşərsə, onda növbəti seçim ehtimalı $p(y_1)=3/4$ olan pul olacaqdır. Əks halda, başqa pul seçiləcəkdir. Sonra ikinci atımın nəticəsindən asılı olaraq növbəti pul seçiləcəkdir və bu proses təkrarlanacaqdır. Belə eksperimentə uyğun olaraq paylanmanın ehtimalı aşağıdakı şəkildə veriləcəkdir:

$$p(y^{(1)}, y^{(2)}, \dots, y^{(n)}) = p(y^{(1)})p(y^{(2)}|y^{(1)}) \dots p(y^{(n)}|y^{(n-1)})$$

burada da:

$$\begin{aligned} p(y^{(i)}=y_1|y^{(i-1)}=y_1) &= 3/4, & p(y^{(i)}=y_2|y^{(i-1)}=y_1) &= 1/4 \\ p(y^{(i)}=y_1|y^{(i-1)}=y_2) &= 1/4, & p(y^{(i)}=y_2|y^{(i-1)}=y_2) &= 3/4 \end{aligned}$$

Metal pulun hər bir növbəti atımı üçün ehtimal paylanması ancaq əvvəlki atımın nəticəsindən asılıdır. $y^{(1)}, y^{(2)}, \dots$ təsadüfi ardıcılığı uyğun olaraq *markov prosesi* adlanır.

3.9. İnformasiyanın miqdarı və Xartli formuluna misal

İnformasiyanın miqdarını ölçmək üçün tətbiq olunan Xartli formulunu yaxşı başa düşməkdən ötrü, əvvəlcə yarıya bölmə metodu ilə N obyektədən birinin tapılmasını oyun formasında nümayiş etdirək.

Fərz edək ki, $N=2^k$ obyekt vardır. Bu oyunun qaydasına əsasən iştirakçılardan biri digərinin nəzərdə tutduğu obyekti tapmalıdır.

Qarşı tərəfin cavabları “hə” yaxud “yox” olmaqla, ona az sayda nə qədər sual verilməlidir ki, 2^k müxtəlif obyektlər içərisindən birini tapmaq mümkün olsun. Bu halda bir sualın cavabı bir bit informasiya daşıyır. Fikirimizi aşağıdakı məsələ üzərində izah edək.

Məsələ: Fərz edək ki, auditoriyada 32 tələbə var və müəllim qərara gəlmişdir ki, onlardan biri, onun sualına cavab verməlidir. Necə edək ki, mümkün qədər minimal sayda müəllimə sual verməklə, onun kimdən soruşmaq istədiyini müəyyən edək.

Həlli: Əgər auditoriyada partalar 4 sırada düzülübə və hər partada 2 tələbə əyləşibə, onda əvvəlcə müəllimə belə sual veririk: “Nəzərdə tutduğunuz tələbə I yaxud II sırada olan partada oturubmu?” Alınan “hə” yaxud “yox” cavabından sonra güman edilən tələbənin sayı 16 qədər azalmış olacaqdır. İkinci, sualla axtarılan tələbənin dəqiq əyləşdiyi sıranı müəyyən etmək olar ki, bu da seçimi 8 nəfərə qədər azaldacaqdır. Analoji qaydada davam edərək, hər cavabdan sonra şübhələrimizin sayı 2 dəfə azalacaqdır. Dörd sualdan sonra seçim 2 tələbədən biri üzərində olacaqdır. Nəhayət, beşinci sualı verməklə axtarılan tələbəni tapmaq olar. Beləliklə, sonda birini tapmaq üçün lazım olan informasiyanın miqdarı daha səmərəli üsulla sualların verilməsini tələb edir.

Tərif. Xəbərin məzmunundan asılı olmayaraq, xəbərdə olan informasiyanın miqdarı bu xəbəri kodlaşdırmaq üçün lazım olan minimal sayda 2-lik işarələrin sayı ilə müəyyən olunur.

Tutaq ki, $N=2^k$. Onda yarıya bölmə üsulu ilə nəzərdə tutulan obyektə tapmaq üçün bizə k sual lazımdır. Bununla belə alınan informasiyanın miqdarı

$$H=k=\log_2 N \quad (1)$$

bit təşkil edir. (1) Xartli formulu adlanır və istənilən N natural ədədi üçün doğrudur.

Lemma 1. k uzunluqlu müxtəlif ikilik sözlərin sayı 2^k bərabərdir.

İsbatı: Bunu isbat etmək üçün induksiya metodundan istifadə edək. $k=1$ üçün lemmanın doğruluğu aydındır. Fərz edək

ki, uzunluğu k bərabər ikilik sözlərin sayının 2^k olduğu artıq təsdiq olunub. Uzunluğu $k+1$ bütün ikilik sözləri 2 tipə bölək: 0 və 1 başlayan sözlərə. Uzunluqları k bərabər bütün sözləri yazaq. Fərziyyəyə görə onların sayı 2^k bərabərdir. Onlardan hər birinin soluna 0 əlavə edək. Aşağıda yenidən uzunluğu k bərabər bütün sözləri yazıb, onların soluna 1 əlavə edək. Beləliklə, biz uzunluğu $k+1$ bərabər bütün sözləri yazdıq. Bunların sayı $2^k+2^k=2^{k+1}$ bərabərdir. Lemma isbat olundu.

Xartli formuluna əsaslanaraq deyə bilərik ki, N elementli əlifbanın, bir simvolunda yerləşən informasiyanın miqdarı $\log_2 N$ bərabərdir.

Lemma 2. N bərabər qiymətli obyektədən, bir obyekt seçdikdə alınan informasiyanın miqdarı $\log_2 N$ bərabərdir.

İsbatı: N müxtəlif simvollardan ibarət əlifba üçün uzunluğu m olan bütün mümkün olan sözlərin sayı N^m bərabərdir (lemma 1 -ə əsasən). Tutaq ki, k elə ədəddir ki,

$$2^k < N^m \leq 2^{k+1} \quad (2)$$

Yəni, bu əlifbada bir simvolun saxladığı informasiyanın miqdarı $(k/m, (k+1)/m)$ arasındadır.

(2) bərabərsizliyini loqarifmləsək $k < m \log_2 N \leq k+1$ (3) alınar. (3) hər tərəfini m -ə bölsək, belə nəticəyə gəlmək olar ki, bir simvolu optimal kodlaşdırdıqda sözün orta uzunluğu $\log_2 N$ bərabərdir. Bu isə Xartli formulunun isbat olunması deməkdir.

Suallar və tapşırıqlar.

1. Kitabxanada 16 kitab qəfəsi, hər bir qəfədə 8 rəf var. Lazım olan kitabın 4-cü rəfdə olması xəbəri neçə bit informasiya saxlayır?

Həlli: Bu halda, lazım olan kitabın yerləşdiyi rəfin nömrəsinə nisbətən xəbərin qeyri-müəyyənliyi aradan götürülür.

Əlavə olaraq, alınan informasiyanın miqdarı $\log_2 8 = 3$ bitə bərabərdir.

2. Alınan teleqramda yazılmışdır: “32 №-li qatarın 7-ci vaqonunu qarşılayın”. Əgər bu şəhərə gündə 4 qatar gəlirsə və hər bir qatarın 16 vaqonu varsa, onda ünvan sahibinin aldığı informasiyanın miqdarını hesablayın?

Həlli: Teleqramda deyilmir ki, kimi nə vaxt qarşılamaq lazımdır, demək, buna uyğun informasiya teleqramı alana artıq məlumdur. Bu səbəbdən, müəyyən qatara aid vaqonun nömrəsi haqqında informasiya yenidir. Belə ki, əvvəlcə vaqon 4 qatardan istənilən birinə aid ola bilər, onda vaqonun nömrəsinə görə qeyri-müəyyənlik $4 \cdot 16 = 64$ bərabərdir. Beləliklə, teleqram $\log_2 64 = 6$ bit informasiya saxlayır.

3.10. Xəbərdə informasiyanın miqdarı və entropiya

Tutaq ki, $\{X, p(x)\}$, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_L\}$ diskret xəbərlər çoxluğu verilmişdir.

Tərif 1. $x_i \in X$ xəbərində olan informasiyanın miqdarı $I(x_i)$ ədədi adlanır və aşağıdakı münasibətlə təyin olunur⁵:

$$I(x_i) = -\log p(x_i), \quad i = 1, 2, \dots, L \quad (1)$$

İnformasiyanın miqdarının əsas xassələrinə baxaq.

1. $I(x) \geq 0$

2. Tutaq ki, $\{XY, p(x, y)\}$. Hər bir xəbər üçün xüsusi informasiya $I(x_i, y_j) = -\log p(x_i, y_j)$. Əgər xəbərlər x_i və y_j statistik asılı deyillərsə, yəni $p(x_i, y_j) = p_1(x_i) \cdot p_2(y_j)$, onda

$$I(x_i, y_j) = -\log p(x_i, y_j) = -\log p_1(x_i) - \log p_2(y_j) = I(x_i) + I(y_j) \quad (2)$$

⁵ Bütün hər yerdə ancaq *ikilik loqarifmindən* istifadə edəcəyik və informasiyanın miqdarını *bitlərlə* ölçəcəyik

(1) düsturu ilə təyin olunan informasiyanın miqdarı, $\{X, p(x)\}$ - da həqiqi funksiya olur, həm də $I(x_1), \dots, I(x_L)$ təsadüfi qiymətlər çoxluğunu özündə göstərir.

Tərif 2. $\{X, p(x)\}$ xəbərlər çoxluğunda təyin olunan $I(x)$ təsadüfi kəmiyyətlərinin riyazi gözləməsi, bu xəbərlərin entropiyası adlanır:

$$H(X) = MI(x) = \sum_{x \in X} I(x) p(x) = - \sum_{x \in X} p(x) \cdot \log p(x) \quad (3)$$

Entropiya özündə X xəbərlər çoxluğunda olan xüsusi informasiyanın orta miqdarını göstərir.

Qeyd. (1) formuluna görə xəbərlərə məxsus xüsusi informasiyanın ehtimalı sıfıra bərabər olduqda, o sonsuz qiymət alır. Amma istənilən diskret xəbərlərin entropiyası sonludur. Belə ki, $z=0$ olduqda, $z \log z$ ifadəsi kəsilməzliyə görə 0 kimi təyin olunur.

Bunun üçün əsas aşağıdakı münasibət götürülür:

$$\lim_{z \rightarrow 0} z \log z = \lim_{z \rightarrow 0} \frac{(\log z)'}{(1/z)'} = \lim_{z \rightarrow 0} \frac{1/z}{-1/z^2} \log e = 0$$

Bu münasibət ∞/∞ tip qeyri-müəyyənliyi açmaq üçün *Lopital qaydasını* tətbiq etmək nəticəsində alınır.

Misal 1. Tutaq ki, $X = \{x_1, x_2\}$ xəbərlər çoxluğu verilmişdir və onun xəbərlərinin ehtimalı $p(x_1)=p$, $p(x_2)=1-p$ bərabərdir. Bu halda entropiya p dəyişənindən asılı funksiya olacaqdır:

$$H(X) = -p \log p - (1-p) \log(1-p) \quad (4)$$

Bu funksiya $p=0$ və $p=1$ nöqtələrində təyin olunmayıb və yuxarıda qeyd olunduğu kimi sıfırla tamamlanır.

Entropiyanı p asılı funksiya kimi araşdırmaq olar.

İndi entropiyanın xassələrinə baxaq.

$$1. H(X) \geq 0 \quad (5)$$

2. Tutaq ki, L ədədi X -də olan xəbərlərin sayıdır, onda

$$H(X) \leq \log L \quad (6)$$

Bununla belə, bərabərlik ancaq o halda olacaqdır ki, X çoxluğunun bütün xəbərləri eyni ehtimallı olsun.

Bunu natural loqarifm üçün olan

$$\ln x \leq x-1 \quad (7)$$

bərabərsizliyə əsaslanaraq, asanlıqla isbat etmək olar.

(6)-nı isbat etmək üçün $H(X) - \log L$ fərqinə baxaq.

$$\begin{aligned} H(X) - \log L &= - \sum_x p(x) \log p(x) - \log L \sum_x p(x) = \\ &= - \sum_x p(x) (\log p(x) + \log L) \\ &= \log e \sum_x p(x) \ln \frac{1}{Lp(x)} \\ H(X) - \log L &\leq \log e \sum_x p(x) \left[\frac{1}{Lp(x)} - 1 \right] \\ &= \log e \left[\sum_x \frac{1}{L} - \sum_x p(x) \right] = 0 \end{aligned}$$

Buradan (6) bərabərsizliyi alınır.

Bir halda ki, (7)-də bərabərlik $x=1$ olduqda alınır, onda

(6)-da bərabərlik $\frac{1}{Lp(x)} = 1$ olduqda mümkündür, yəni nə

vaxt ki, bütün $x \in X$ üçün $p(x) = 1/L$ olur.

Beləliklə, bütün $x \in X$ üçün məlumat qabaqcadan müəyyən olarsa, entropiya ən kiçik 0 qiyməti alacaqdır, yəni onlardan biri həmişə peyda olarsa, qalanları isə hərdənbir —

onda entropiya ən kiçik 0 qiyməti alacaqdır. Entropiya ən böyük qiymətini bütün məlumatların ehtimalı eyni olduqda alır.

3. Tutaq ki, X və Y – statistik asılı deyillər.

$$H(XY) = M[I(x_i) + I(y_j)] = H(X) + H(Y) \quad (8)$$

Bu xassə *entropiyanın additivlik xassəsi* adlanır.

3.11. Şərti informasiya. Şərti entropiya

Tutaq ki, $\{XY, p(x, y)\}$ -verilən $\{X, p(x)\}$ və $\{Y, p(y)\}$ diskret məlumatlarının birgə cütüdür. Yuxarda qeyd olunduğu kimi X və Y çoxluqlarından hər biri üçün müxtəlif şərti paylanmalar müəyyən oluna bilər.

Ehtimalı $p(y) \neq 0$, $y \in Y$ olan bir məlumatı qeyd edək, həm də X çoxluğunda $p(x|y)$ şərti paylanmasına baxaq. $\{X, p(x|y)\}$ - da hər bir $x \in X$ məlumatı üçün xüsusi informasiya

$$I(x|y) = -\log p(x|y) \quad (1)$$

müəyyən olunur. **Bu cür informasiya y məlumatı qeyd olunduqda x məlumatının şərti xüsusi informasiyası adlanır.**

Əvvəldə olduğu kimi, $I(x|y)$ informasiyasına $\{X, p(x|y)\}$ - da təsadüfi kəmiyyətlər kimi baxmaq olar və onun riyazi gözləməsi

$$H(X|y) = \sum_x p(x|y)I(x|y) = -\sum_x p(x|y)\log p(x|y) \quad (2)$$

$y \in Y$ məlumatına nisbətən X – in şərti entropiyası adlanır. $H(X|y)$ şərti entropiyasına $\{Y, p(y)\}$ çoxluğunda təsadüfi kəmiyyətlər kimi baxmaq olar.

Tərif 1. $\{Y, p(y)\}$ çoxluğunda təyin olunan $H(X|y)$ təsadüfi kəmiyyətlərin $H(X|Y)$ riyazi gözləməsi, Y -ə nisbətən X -in şərti ehtimalı adlanır:

$$H(X|Y) = MH(X|y) = \sum_Y p(y)H(X|y) = -\sum_X \sum_Y p(x, y) \cdot \log p(x|y) \quad (3)$$

$I(x|y)$ şərti informasiyasına $\{XY, p(x, y)\}$ çoxluğunda verilən funksiya kimi baxmaq olar. Formula (3)-lə müəyyən olunan $H(X|Y)$ entropiya, $I(x|y)$ təsadüfi kəmiyyətlərinin riyazi gözləməsidir.

İndi entropiyanın və şərti entropiyanın xassələrinə baxaq.
1. Eyni bir xəbərin şərti entropiyası onun şərtsiz entropiyasından kiçik yaxud bərabərdir:

$$H(X|Y) \leq H(X) \quad (4)$$

o vaxt, bərabər olur ki, X və Y statistik asılı deyillər.

2.

$$H(XY) = -\sum_X \sum_Y p(x, y) I(x, y) = -\sum_X \sum_Y p(x, y) \log p(x, y) \quad (5)$$

Şərti ehtimalın tərifiindən istifadə etməklə $p(x, y) = p(y) \cdot p(x|y)$ aşağıdakı münasibəti almaq olar:

$$H(XY) = -\sum_X \sum_Y p(x, y) \log p(x|y) - \sum_X \sum_Y p(x, y) \log p(y) = H(X|Y) + H(Y) \quad (6)$$

$p(x, y) = p(x) \cdot p(y|x)$ münasibətindən istifadə etsək, analogi olaraq,

$$H(XY) = H(Y|X) + H(X) \quad (7)$$

almaq olar.

Bu xassə *entropiyanın additivlik xassəsi* adlanır.

İnformasiya nəzəriyyəsinin əsasında, Şennonun təklif etdiyi bir təsadüfi kəmiyyətin digər təsadüfi kəmiyyətə nisbətən saxladığı informasiyanın miqdarının ölçmə üsulu durur.

Bu üsul informasiyanın miqdarını ədədlə ifadə etməyə imkan verir.

Tutaq ki, X və Y təsadüfi kəmiyyətləri üçün paylanma qanunu $P(X=X_i)=p_i$, $P(Y=Y_j)=q_j$, və $P(X=X_i, Y=Y_j)=p_{ij}$ verilmişdir. Onda X -in Y -ə nisbətən saxladığı ***informasiyanın miqdarı***,

$$I(X, Y) = \sum_{i, j} p_{ij} \log_2 \frac{p_{ij}}{p_i q_j}$$

bərabərdir. Aydındır ki,

$$P(X = X_i, X = X_j) = \begin{cases} 0, & i \neq j, \\ P(X = X_i), & i = j, \end{cases} \text{ olduqda} \quad \text{olduqda}$$

Buna görə də

$$I(X, X) = \sum_i p_i \log_2 \frac{p_i}{p_i p_i} = - \sum_i p_i \log_2 p_i$$

İnformasiya nəzəriyyəsində X təsadüfi kəmiyyətinin entropiyası

$$H(X) = HX = I(X, X)$$

formulu ilə müəyyən olunur.

İnformasiya və entropiyanın ölçülərinin xassələri:

- 1) $I(X, Y) \geq 0$, $I(X, Y) = 0 \Leftrightarrow X$ və Y asılı deyillər;
- 2) $I(X, Y) = I(Y, X)$;
- 3) $HX = 0 \Leftrightarrow X$ – sabitdir;
- 4) $I(X, Y) = HX + HY - H(X, Y)$, burada $H(X, Y) = - \sum p_{ij} \log_2 p_{ij}$;
- 5) $I(X, Y) \leq I(X, X)$. Əgər $I(X, Y) = I(X, X)$ olarsa, onda $X - Y$ -in funksiyasıdır.

X və Y təsadüfi kəmiyyətlərinin asılı olmaması o deməkdir ki, onlardan biri digərini təsvir etmir. Bu halda $I(X, Y) = 0$.

Sadə bir misalə baxaq. Tutaq ki, X təsadüfi kəmiyyəti zərin atılması nəticəsində düşən xalları göstərir. Əgər düşən xal cütdürsə Y təsadüfi kəmiyyəti 0-a bərabərdir, əks halda, Y 1-ə bərabər olur. $I(X, Y)$ və $I(Y, Y)$ tapın.

X və Y t.k. paylanma qanunu tərtib edək.

X	1	2	3	4	5	6
p	1/6					

Y	0	1
p	1/2	

Beləliklə, $p_i = P(X=i) = 1/6, i=1 \dots 6$ və $q_j = P(Y=j) = 1/2, j=0,1$. Həmçinin təsadüfi kəmiyyətlərin birgə paylanma qanunu tərtib edək.

X	1	3	5	2	4	6
Y	0	0	0	1	1	1
p	1/6					

1	3	5	2	4	6
0					

Beləliklə,

$$P(X = X_i, X = X_j) = \begin{cases} 0, & i \neq j \\ 1/6, & i = j \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{cut} \\ \text{tek} \end{matrix}$$

$$I(X, Y) = \sum_{i,j} p_{ij} \log_2 \frac{p_{ij}}{p_i q_j} = 6 \cdot (1/6) \log_2 2 = 1 \text{ bit/sim.}$$

$$I(Y, Y) = \sum_i p_i \log_2 \frac{p_i}{p_i p_i} = -\sum_i p_i \log_2 p_i = 2 \cdot (1/2) \log_2 2 = 1$$

bit/sim.

Xalın dəqiq düşməsi informasiyanın cüt olması haqqında dəqiq informasiya verir, yəni 1 bit.

$I(X, Y) = I(Y, Y) = 1$ bit/sim olmasından və informasiyanın 5 xassəsindən alırıq ki, X haqqında informasiyanı Y tam müəyyən edir. Lakin əksi doğru deyil, yəni $I(X, Y) \neq I(X, X) = 1 + \log_2 3 \approx 2,58$ bit/sim.

Həqiqətən də, Y X-dən funksional asılıdır, X isə Y-dən funksional asılı deyil.

Entropiyanı hesablamaqla aşağıdakıları alırıq.

$$H(X, Y) = -\sum p_{ij} \log_2 p_{ij} = \log_2 6 = 1 + \log_2 3 = HX,$$

$$I(X, Y) = HX + HY - HX = HY = 1 \text{ bit/sim.}$$

3.12. Markov mənbəyi

Informasiyada simvollar arasında qarşılıqlı əlaqələrin mövcud olması, simvollar arasında korrelyasiya əlaqələrinin olduğunu göstərir. *“Simvollar arasında korrelyasiya”* termini *Markov zənciri* və *Markov mənbəyi* anlayışları ilə sıx bağlıdır.

Tutaq ki, mənbənin əvvəlki vaxt anında yaratdığı simvolların asılı olaraq, bir ehtimal ilə müxtəlif simvolları yaradan S informasiya mənbəyi vardır. *Bu məlumat mənbəyinin cari vəziyyəti, onun əvvəlki vəziyyətini yadda saxladığı üçün yaddaşlı mənbə adlanır.* Yaddaşlı mənbədən çıxan simvollar Markov zənciri yaradır.

Əgər informasiyada meydana çıxan simvolların ehtimalı ardıcılığı yalnız bir simvolla müəyyən edilirsə, onda deyəcəyik ki, o, birəlaqəli Markov zənciri təşkil edir.

Meydana çıxan simvolun mövcud ehtimalı əvvəlki \mathbf{K} simvoldan asılıdırsa, onda deyəcəyik ki, o, \mathbf{K} -əlaqəli Markov zənciri yaradır. Çıxışa daxil olan \mathbf{A} informasiya əlifbasının simvollarının, \mathbf{K} -dərəcəli Markov mənbəyinə baxaq.

s_{i-k}, \dots, s_{i-1} simvollar zəncirindən sonra peyda olan s_i simvolunun ehtimalı belə mənbənin çıxışında $p(s_i | s_{i-k}, \dots, s_{i-1})$ şərti ehtimal kimi müəyyən edilir.

Markov mənbəsinin entropiyası aşağıdakı formula ilə hesablanır:

$$H(S) = - \sum_{i_1=1}^N \cdots \sum_{i_{k+1}=1}^N p(a_{i_1}, \dots, a_{i_{k+1}}) \cdot \log_m P(a_{i_{k+1}} | a_{i_1}, \dots, a_{i_k})$$

Burada: a_1, \dots, a_N – A əlifbasının simvolları, N əlifbanın gücü, m isə - informasiyanı göstərən sistemin əsasıdır.

Markov mənbəyi informasiya yaradan modeldən başqa bir şey deyil.

Ümumiyyətlə, Markov mənbəyi bir model kimi, real informasiya mənbəyinin xüsusiyyətlərinə uyğun deyil. Buna baxmayaraq, model çox fəal müxtəlif informasiya proseslərini təsvir etmək praktikası ilə məşğuldur.

Görünür, bu modelə nəzərən informasiyanı doğuran səbəb son iqtisadi kodlaşdırma texnologiyasında geniş yayılmışdır.

3.13. Diskret mənbənin bərabər uzunluqlu kodlarla kodlaşdırılması məsələsi

D elementindən ibarət müəyyən çoxluğu A ilə işarə edək: $A = \{a_1, a_2, \dots, a_D\}$. Onu mənbənin *kod əlifbası* adlandırmaq. A çoxluğunun elementlərini isə *kod simvolları* adlandırmaq. Kod simvolları ardıcılığı *kod sözləri*, istənilən kod sözləri ardıcılığı – *A əlifbası üzərində kodlaşdırma* adlanır.

Misal 1. Tutaq ki, A – azərbaycan əlifbasının hərfləri çoxluğu. İstənilən n uzunluqlu hərflər ardıcılığı A əlifbası üzərində uzunluğu n bərabər kod sözləri olur. Belə ki, ABTƏ_ASC uzunluğu 8 bərabər sözdür. Kod əlifbasına başqa bir misal onluq rəqəmləri göstərək. Aşağıdakı ardıcılıq 00011, 0098 uzunluğu uyğun olaraq 5 və 4 olan kod sözləridir.

Misal 2. Tutaq ki, $A = \{0, 1\}$ ikilik əlifbadır. $\{011, 1100, 11, 1\}$ ikilik əlifba üzərində 4 elementdən ibarət kodlar çoxluğudur. Burada, kod sözləri müxtəlif uzunluqdadır. $\{00, 01, 10, 11\}$ çoxluğu həmçinin ikilik kodlardır və onların uzunluqları bərabərdir.

Tərif 1. Əgər çoxluğa daxil olan bütün kod sözlərinin uzunluqları eyni olub, m bərabərdirsə, onda o, bərabər kodlaşma adlanır. Əgər kod sözlərindən heç olmasa ikisinin uzunluqları müxtəlifdirsə, onda o, müxtəlif uzunluqlu kodlaşma adlanır.

Bərabər kodlaşmada m uzunluqlu müxtəlif sözlərin sayı D^m , kod sözünün uzunluğu ən çoxu m olan müxtəlif uzunluqlu kodlaşmada müxtəlif kod sözlərinin sayı $D(D^m-1)/(D-1)$ kəmiyyətindən çox deyil.

Tərif 2. X məlumatlar çoxluğun kodlar vasitəsilə kodlaşdırılması, məlumatlar çoxluğun kod sözləri çoxluğuna əks etdirilməsi adlanır.

Misal 3. Tutaq ki, $X = \{x_1, \dots, x_6\}$. İkilik kodlarla aşağıdakı kodlaşdırma üsulları mümkündür:

- a) $x_1 \rightarrow 000$; $x_2 \rightarrow 001$; $x_3 \rightarrow 010$; $x_4 \rightarrow 011$; $x_5 \rightarrow 100$; $x_6 \rightarrow 101$;
- b) $x_1 \rightarrow 00$; $x_2 \rightarrow 01$; $x_3 \rightarrow 00$; $x_4 \rightarrow 10$; $x_5 \rightarrow 01$; $x_6 \rightarrow 11$;
- c) $x_1 \rightarrow 00$; $x_2 \rightarrow 00$; $x_3 \rightarrow 01$; $x_4 \rightarrow 01$; $x_5 \rightarrow 10$; $x_6 \rightarrow 11$.

Göründüyü kimi, a) birqiymətli kodlaşdırma, b) və c) eyni bir kod sözləri çoxluğu ilə iki müxtəlif üsulla kodlaşdırılıb.

İndi diskret mənbənin kodlaşdırılmasına baxaq.

Kodlaşdırma zamanı meydana çıxan əsas problemi yaxşı başa düşməkdən ötrü, bir neçə misalı nəzərdən keçirək.

Misal 4. Fərz edək ki, mərkəzi teleqrafliq 64 hərfdən ibarət əlifbada yazılmış teleqrafı avtomatik emal edir. Fərz edək ki, emalın səmərəliliyi emaledici yaddaş qurğusuna daxil olan teleqrafın sayı ilə müəyyən olunur. Tutaq ki, yaddaş qurğusunun həcmi = N. Teleqramın yaddaş qurğusuna yazılmasını həyata keçirmək üçün teleqramı ikilik kodların köməyi ilə kodlaşdırmaq lazımdır. Əvvəlcə, hərf-hərf kodlaşdırma baxaq. Bu halda saxlanılan $2^6=64$ kod sözü, kodlar kimi istifadə olunur, həm də bu kod sözləri teleqramın hər bir hərfinə qarşı qoyulur. Fərz edək ki, bərabər kodlaşdırmadan istifadə olunur və bütün kod sözlərinin uzunluğu 6 ikilik simvola bərabərdir. Bu zaman yaddaş qurğusuna N/6 hərf yazmaq olar. Əgər hesab etsək ki, teleqram orta hesabla 20 sözdən ibarətdir və hər bir sözdə orta hesabla 8 hərf var, onda yaddaş qurğusuna N\960 teleqram yazmaq olar.

Kodlaşdırmanın ikinci üsulu xüsusi lüğətin ayrılmasından ibarətdir. Məsələn, $2^{13}=8192$ sözdən ibarət lüğət ayrılmışdır. Lüğətin hər bir sözünü uzunluğu 13 simvoldan ibarət ikilik rəqəmlərin köməyiylə kodlaşdırmaq olar. Bu halda yaddaş qurğusuna N/260 teleqram yazmaq olar ki, bu da birinci halda yazılardan üç-dörd dəfə çoxdur.

Əgər lüğət bütün sözləri saxlamırsa, onda lüğətdə olmayan sözlər “səhv” kimi kodlaşdırılır. Dekodlaşdırma zamanı bu kod sözləri “səhv” kimi səslənəcək. Baxmayaraq ki, teleqramlar həcmcə kiçik olurlar, onlar arasında da inanılmaz hərf birləşməsinə rast gəlinir, məsələn, ABYUY-AB. Buna görə də kodlaşdırma zamanı səhvlər mümkündür. Qeyd edək ki, teleqramın bütün sözlərini hərf-hərf kodlaşdırdıqda birqiymətli (səhvsiz) kodlaşdırmaq mümkündür. Məsələn 4-də izah edilmiş fikir bərabərölçülü kodlarla istənilən diskret mənbəni kodlaşdırmaq üçün tətbiq oluna bilər.

Fərz edək ki, uzunluğu n bərabər bütün məlumatlar çoxluğu iki altçoxluğuna bölünüb. Onlardan birincisi bütün n ardıcillıqlardan (n uzunluqlu bloklardan) təşkil olunub ki, onlara qarşı qarşılıqlı birqiymətli kod sözləri qoyulmuşdur. ***Bu altçoxluğu birqiymətli kodlaşdırılan və dekodlaşdırılan bloklar çoxluğu adlandıracağıq.*** İkinci çoxluq bütün yerdə qalan bloklardan təşkil olunub və onların hər birinə qarşı eyni kod sözü qoyulmuşdur. ***Axırıncı altçoxluğu müxtəlifqiymətli kodlaşdırılan və dekodlaşdırılan bloklar çoxluğu adlandıracağıq.*** Uzunluğu m bərabər, bütün kod sözləri D^m ədədi ilə müəyyən olunur. M kod sözləri üçün $D^m \geq M$ bərabərsizliyi ödənilir. Məlumatlar ardıcillığı mənbənin çıxışında kodlaşdırma zamanı n uzunluqlu bloklara bölünür, hər bir bloka ***koder*** uyğun kod sözünü qoyur.

Diskret mənbənin təsvir edilmiş kodlaşdırma metodunu biz bərabərölçülü kodlaşdırma adlandıracağıq. Bərabər kodlaşdırma

zamanı bir məlumatda olan kod simvollarının sayı $\frac{1}{n} \frac{\log M}{\log D}$

bərabərdir.

Tərif 3. Məlumatlar ardıcılığını uzunluğu n bərabər bloklara bölüb, M kod sözlərinin köməyi ilə kodlaşdırıldıqda alınan

$$R = \frac{\log M}{n} \quad (1)$$

ədəd mənbənin bərabər ölçülü kodlaşdırma sürəti adlanır.

Məlumatda ikilik simvolların sayı təbii ki, $\frac{1}{n} \log M$ ədədi ilə ölçüləcək, amma $\frac{m \log D}{n}$ ədədi ilə yox. Aydınadır ki, bu iki ədəd kod sözlərinin sayı D^m bərabər olduqda üst-üstə düşəcək. Bütün qalan hallarda məlumatda olan **2-lik** simvolların sayı bu ədədlərdən birincisinə bərabərdir.

3.14. Diskret mənbənin müxtəlif ölçülü kodlaşdırma məsələsi

3.14.1. Unikal dekodlaşdırma kodları

Diskret mənbənin bərabərölçülü kodlaşdırma məsələsi həm də göstərdi ki, belə kodlaşdırma şəraitində informasiyanın yaradılma sürəti məlumat mənbəyinin entropiyasına bərabərdir.

Burada kodlaşdırma məsələsinə digər yanaşmanın mövcud olduğuna baxacağıq. Onu aydınlaşdırmaq üçün yuxarıda baxdığımız misala qayıdaq.

Burada teleqramın iki üsulla kodlaşdırılmasına baxmışdıq.

Bunlardan biri hərf-hərf kodlaşdırma adlanır ki, bir hərf üçün **6** ikilik simvol sərf etməklə, istənilən teleqramı kodlaşdırmaq və sonradan isə səhvsiz dekodlaşdırmaq olar. O, verilən mənbə üçün səciyyəvi olan teleqramları birqiymətli kodlaşdır-

mağa imkan verir. Bir hərfi kodlaşdırma zamanı təxminən **13/8** ikilik simvollar sərf olunacaqdır ki, bu da hərf-hərf kodlaşmadan əhəmiyyətli dərəcədə azdır. Teleqramı kodlaşdırmaq üçün daha bir üsul vardır ki, onun haqqında əvvəllər heç nə deyilməyib.

Fərz edək ki, teleqramdakı hərflərin hansı ehtimalla gəlməsi məlumdur. Onda tez-tez rast gələn hərfləri qısa kodlarla, hərdənbir rast gəlinən hərfləri isə nisbətən uzun kod sözləri ilə kodlaşdırmaq olar. Belə üsulla hərf-hərf kodlaşdırma zamanı müxtəlif ölçülü kodlardan istifadə olunur. İstənilən teleqramı unikal kodlaşdırmaq və unikal dekodlaşdırmaq olar. Orta hesabla hər bir hərf üçün istifadə olunan ikilik simvolların sayı, hərf-hərf bərabərölçülü kodlaşdırma zamanı olduğundan az olacaqdır.

Mənbənin kodlaşdırılmasının hər hansı bir metodu kimi, müxtəlif ölçülü kodlaşdırmanın xüsusiyyətləri əsasında eyni məlumatları kodlaşdırmağa sərf olunan simvolların sayı durur. Kodlaşdırma zamanı sərf olunan simvolların sayı, məlumatdan asılıdır və buna görə özündə təsadüfi kəmiyyəti göstərir.

$x_i \in X$ məlumatının kod sözünün uzunluğunu m_i ilə işarə edək.

Tutaq ki, $p(x_i)$ – bu məlumatın ehtimalıdır, onda

$$m(X) = \sum_{x_i \in X} m_i p(x_i) \quad (1)$$

Burada: **(X, p(x))** məlumatlar çoxluğunun, kod sözlərinin orta uzunluğu olacaqdır.

Fərz edək ki, uzunluğu **n** bərabər məlumatlar blokunu kodlaşdırmaq üçün müxtəlif ölçülü kodlardan istifadə olunur. Bu çoxluğu $\{X^n, p(x)\}$ işarə edək. Tutaq ki, $m(X^n)$ kod sözünün orta uzunluğudur.

Tərif 1. Məlumatlar ardıcılığını uzunluğu n bərabər bloklara bölüb, D sistemli müxtəlif ölçülü kod sözlərinin köməyi ilə kodlaşdırdıqda alınan ədəd müxtəlif ölçülü kodlaşmanın orta sürəti adlanır:

$$R = \frac{m(x^n) \log D}{n} \quad (2)$$

Müxtəlif ölçülü kodlaşmanın orta sürəti xəbərdə olan ikilik simvollarla ölçülür.

Misal 1. Fərz edək ki, $n=1$ və mənbə hər bir vaxt anında səkkiz xəbərdən x_1, \dots, x_8 birini yaradır.

Aşağıdakı cədvələ baxaq.

Cədvəl 1.

x_i	$P(x_i)$	Bərabər ölçülü kodlar	Müxtəlif ölçülü kodlar	m_i
x_1	1/4	0 0 0	0 0	2
x_2	1/4	0 0 1	0 1	2
x_3	1/8	0 1 0	1 0 0	3
x_4	1/8	0 1 1	1 0 1	3
x_5	1/16	1 0 0	1 1 0 0	4
x_6	1/16	1 0 1	1 1 0 1	4
x_7	1/16	1 1 0	1 1 1 0	4
x_8	1/16	1 1 1	1 1 1 1	4

Qeyd edək ki, xəbərlər çoxluğunun entropiyası **2,75** bitə bərabərdir. Xəbərlər cədvəldə bərabər və müxtəlif ölçülü kod sözləri ilə kodlaşdırılmışdır. Birinci kodların uzunluğu hamısı üçün eyni olub, 3-ə bərabərdir. İkinci üçün kodlar müxtəlif uzunluqlu olub, orta uzunluğu **2,75** simvola bərabərdir. Hər iki kodlarla hərf-hərf kodlaşdırma yerinə yetirilib. Birinci halda kodlaşdırma sürəti **3 bit/xəbər-ə**, ikinci halda isə **2,75 bit/xəbər-ə** bərabərdir.

Müxtəlif ölçülü kodlaşdırmanın orta sürəti kod sözləri çoxluğundan və n seçilməsindən asılıdır.

Bizim məqsədimiz minimum orta sürəti əldə etməkdir.

Bilmək lazımdır ki, xəbərlər çoxluğunu kodlaşdırmaq üçün istənilən kod sözləri yaradılırmı, onlara hər hansı məhdudiyət qoymaq lazımdır?

Bu sualın varlığını, aşağıdakı mısalla izah edək.

Misal 2. Fərz edək ki, mənbə x_1, x_2, x_3, x_4 xəbərlərini yaradır və bu xəbərlər aşağıdakı şəkildə kodlaşdırılır: $x_1 \rightarrow 01, x_3 \rightarrow 10, x_4 \rightarrow 011$. Kod əlifbası iki simvoldan ibarətdir: 0 və 1.

Tutaq ki, mənbənin çıxışında $x_2x_3x_2x_1\dots$ xəbərlər ardıcılığı gəlir. Kodlayıcı hər xəbər üçün kod sözünü yaradır. Onun çıxış ardıcılığı 0110100 ... kod sözləri əmələ gəlir. Kod sözləri arasında ayırıcı işarə yoxdur. O olsaydı, üç simvoldan ibarət kod əlifbasına gətirib çıxarardı. Dekodlayıcı yuxarıdakı silsilənin yalnız əvvəlini bilir, amma ikinci kod sözü, üçüncü və s. başlanğıcını bilmir.

Bu ardıcılıqda bir neçə müxtəlif üsullarla kodu açmaq imkanı meydana çıxır ki, bunlardan birincisində $(x_2, x_3, x_2, x_1, \dots)$ – kodlar düzgün açılmışdır, digər iki halda $(x_4, x_2, x_1, x_1, \dots)$, $(x_4, x_1, x_3, x_1, \dots)$ – kodlar səhv açılmışdır. Buna səbəb 0 kod sözünün 01 sözünün əvvəli olduğu, bu sözün isə öz növbəsində 011 sözünün əvvəli olmasıdır.

Misal 1 kodların birqiyətli açılmasına imkan verir. Ardıcılıqda simvolları üç-üç hesablayıb ayırısaq, bütün kod sözləri alarıq. Bu misalda müxtəlif ölçülü kodların heç birinin əvvəli digərinin əvvəli ilə üst-üstə düşmür. Buna görə belə kod sözlərini birmənalı bölmək olar.

Kod sözlərindən heç biri digərinin əvvəli deyilsə, onda belə kodlar, prefiks kodlar adlanır.

Prefiks kodlar birmənalı dekodlaşdırma xassəsinə malikdir, lakin əksi doğru deyil.

Misal 3. 0, 01, 011 sözlərindən əmələ gələn kodlar prefiks deyillər, lakin birmənalı dekodlaşdırılır. Özünüz bunu göstərin.

Beləliklə, məlumatları kodlaşdırmaq üçün o kodlar yararlıdır ki, onlar birmənalı dekodlaşmaya imkan verir.

Tərif 2. Müxtəlif ölçülü kodlaşdırma zamanı diskret mənbənin yaratdığı informasiyanın sürəti ən kiçik H ədədinə deyilir. Belə ki, istənilən $R > H$ ədədi üçün elə n ədədi tapmaq olar ki, müxtəlif ölçülü kodların orta kodlaşdırma sürəti R , birmənalı dekodlaşdırmağa imkan verər.

Aşağıda biz göstərəcəyik ki, müxtəlif ölçülü kodlaşdırma zamanı informasiyanın yaradılma sürəti, bərabərölçülü kodlaşdırma zamanı informasiyanın yaradılma sürətilə üst-üstə düşür. H ədədinin müxtəlif ölçülü kodlaşdırma zamanı informasiyanın yaradılma sürəti olduğunu sübut etmək üçün aşağıdakı teoremi isbat etmək lazımdır.

Teorem 1. Fərz edək ki, uzunluqları m_1, \dots, m_M bərabər olan, M sözdən ibarət kodlar, birmənalı dekodlaşdırılır və kod əlifbası D simvoldan ibarətdir. Onda

$$\sum_{i=1}^M D^{-m_i} \leq 1 \quad (3)$$

İsbatı. Tutaq ki, $\forall L > 0$ tam ədəddir. Onda aşağıdakı bərabərlik doğrudur:

$$\left(\sum_{i=1}^M D^{-m_i} \right)^L = \sum_{i_1=1}^M \dots \sum_{i_L=1}^M D^{-(m_{i_1} + \dots + m_{i_L})} \quad (4)$$

Qeyd edək ki, (4) sağ tərəfində olan hər bir toplanan L kod sözündən ibarət mümkün ardıcılıqdır. Bu kod sözləri ardıcılığına uyğun uzunluq $m_{i_1} + \dots + m_{i_L}$ cəminə bərabərdir. Əgər A_j vasitəsilə ümumi uzunluğu j bərabər L kod sözündən ibarət ardıcıl

lıqların sayını işarə etsək, onda (4) aşağıdakı şəkildə yenidən yazmaq olar:

$$\left(\sum_{i=1}^M \mathbf{D}^{-m_i} \right)^L = \sum_{j=1}^{Lm} \mathbf{A}_j \mathbf{D}^{-j} \quad (5)$$

Burada $\mathbf{m} = \max\{m_1, \dots, m_M\}$.

Əgər $\forall L$ və $\forall j$ olduqda, L kod sözlərindən əmələ gələn, j uzunluqlu kod simvolları ardıcılıqları yeganədirsə, onda kodlar birmənalı dekodlaşdırılır. Belə ki, \mathbf{D}^j uzunluğu j bərabər müxtəlif ardıcılıqların maksimal sayıdır. Onda $\mathbf{A}_j \leq \mathbf{D}^j$ olar. Bu bərabərsizliyi (5) əvəz edək.

$$\left(\sum_{i=1}^M \mathbf{D}^{-m_i} \right)^L \leq L \cdot m \quad (6)$$

yaxud

$$\sum_{i=1}^M \mathbf{D}^{-m_i} \leq (Lm)^{1/L} = 2^{\frac{1}{L} \log m L} \quad (7)$$

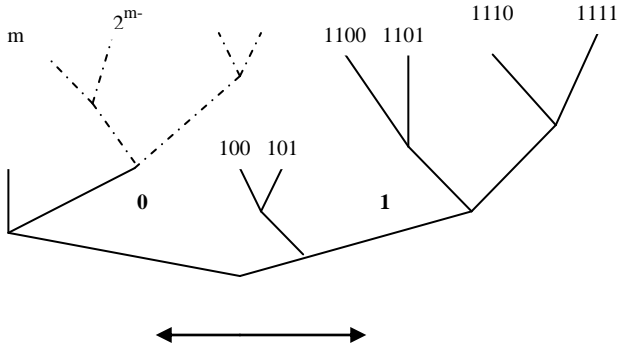
(7) bərabərsizliyi bütün $L > 0$ üçün doğrudur. (7) bərabərsizliyində $L \rightarrow \infty$ limitə keçsək teorem isbat olunur.

Beləliklə, biz birmənalı dekodlaşdırma xassəsini ödəyən kodlar üçün zərurilik şərtini aldıq.

3.14.2. Kod ağacı. Kraft bərabərsizliyi

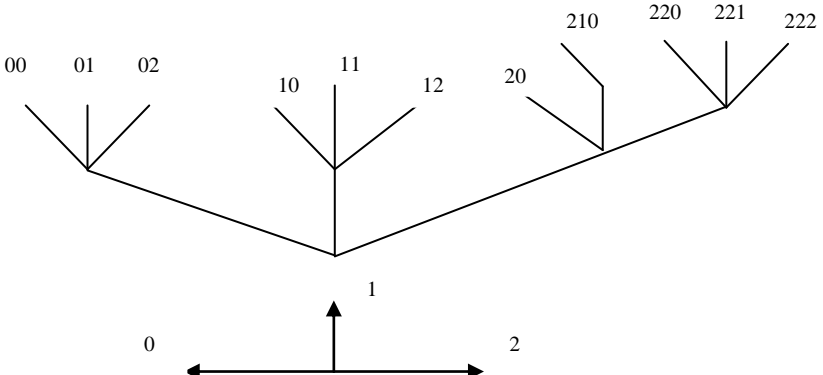
Prefiks kodları birmənalı dekodlaşdırma xassəsinə malikdir. Belə kodlardan heç birinin əvvəli digərinin əvvəli ilə üst-üstə düşmür. Prefiks kodlarını kod ağacı adlanan xüsusi qrafla təsvir etmək əlverişlidir. Tutaq ki, bizə ilgəyi və qapalı yolları olmayan bir qraf verilmişdir. Bu qrafın təpə nöqtələrinə bir til daxil olur və buradan ən çoxu D til çıxır (qrafın başlanğıcı istisna olunur). Belə qraf D -lik kod ağacı adlanır. Qrafın təpəsindən çıxan tillərdən hər birinə qarşı, kod əlifbasının bir simvolu qoyulur. Həm də nəzərə

almaq lazımdır ki, bir təpədən çıxan müxtəlif till r  qarşı müxtəlif simvollar qoyulur.



Şəkil 3.1. İkilik ađac

Hər bir sađ til  qarşı 1, hər bir sol til  qarşı isə 0 qoyulur. Şəkil 2   l k kod ađacı göstərilmişdir. Bu   l k ařađıdaki kodlara uyđundur 00,01,02, 10,11,12,20, 210, 220, 221, 222.



Şəkil 3.2.   l k kod ađacı

Kod ağacının kökündən i tilə qədər uzaqlıqda olan təpə nöqtələri, i dərəcəli yarus əmələ gətirir. Əgər təpə nöqtələrindən heç bir til çıxmırsa, onda onlar son təpə nöqtələri adlanırlar. Əgər kod sözləri ağacın son təpə nöqtələrinə uyğundursa, onda o prefiks kodlardır.

Teorem 1 (Kraft bərabərsizliyi). Uzunluqları m_1, \dots, m_M olan kod sözlərinin prefiks kodları olması üçün zəruri və kafi şərt

$$\sum_{i=1}^M D^{-m_i} \leq 1 \quad (1)$$

olmasıdır.

İsbati. Teoremin isbatı son təpə nöqtələri m_1, \dots, m_M yaruslu olan qrafın mövcud olması ilə əlaqədardır. Yuxarda (1) üçün zərurilik şərtini isbat etmişik. İndi kafilik şərtini isbat edək, yəni (1) şərti ödəndikdə son təpə nöqtələri m_1, \dots, m_M yarus olan qrafi qurmaq olar. Fərz edək ki, bu yığım arasında ədədi sırası s bərabər olan yarusla, dəqiq α_s dəfə rast gəlinir, $s=1, 2, \dots, m$. Onda

$$\sum_{i=1}^M D^{-m_i} = \sum_{s=1}^m \alpha_s D^{-s} \leq 1 \quad (2)$$

Bu bərabərsizliyi aşağıdakı şəkildə yazaq:

$$\sum_{s=1}^{i-1} \alpha_s D^{-s} + \alpha_i D^{-i} + \sum_{s=i+1}^m \alpha_s D^{-s} \leq 1 \quad (3)$$

(3) olan cəmləri bərabərsizliyin sağ tərəfinə keçirib, hər tərəfini D^i vuraq. Onda

$$\alpha_i \leq D^i - \sum_{s=1}^{i-1} \alpha_s D^{i-s} - \sum_{s=i+1}^m \alpha_s D^{i-s} \leq D^i - \sum_{s=1}^{i-1} \alpha_s D^{i-s} \quad (4)$$

(4) tam induksiya metodunu tətbiq edək. $i=1$ olduqda, ağac bir dərəcəli yarusu α_1 dəfə saxlayır. Həqiqətən (3) çıxır ki, $\alpha_1 D^{-1}$, yəni $\alpha_1 \leq D$. Belə ki, ağacın bir dərəcəli yarusu, ən çoxu D – dir. Fərz edək ki, ağacın s dərəcəli yarusu, α_s – saydadır, $s = 1, 2, \dots, i$

1 üçün yarusları qurmaq olar. İsbat edək ki, bu ağaca α_i sayda, i dərəcəli yarus əlavə etmək olar. Bu induksiya doğru olarsa, onda i dərəcəli yarusdan $\sum_{s=1}^{i-1} \alpha_s D^{i-s}$ mümkün sayda son təpə nöqtələrini çıxaraq. Belə ki, mümkün olan son təpə nöqtələrinin maksimal həddi D^i bərabərdir, onda i yarusunda sərbəst təpələrin sayı

$$D^i - \sum_{s=1}^{i-1} \alpha_s D^{i-s}$$

bərabərdir. Buna görə, ağacın α_s sayda s dərəcəli son təpə nöqtələrinə, α_i sayda i dərəcəli son təpə nöqtələri əlavə etmək olar. Teorem isbat olundu.

3.14.3. Müxtəlif ölçülü optimal kodlar

Bu bölmədə müxtəlif ölçülü diskret məlumatlar $\{X, p(x)\}$ üçün optimal birmənalı dekodlaşdırma üsulu təsvir edilmişdir. *Optimal kodların orta kod sözlərinin uzunluğu mümkün qədər minimuma bərabərdir.* Əvvəlcə sadə halla baxaq.

Fərz edək ki, məlumatların ehtimalları aşağıdakı bərabərliklə müəyyən olunur:

$$P(x_i) = D^{-m_i}, \quad i=1, 2, \dots, M \quad (1)$$

Bu halda, optimal D sistemli birmənalı dekodlaşdırma kodlarının olması üçün kod sözlərinin orta uzunluğu

$$m(X) = \frac{H(X)}{\log D} \quad (2)$$

olmalıdır. x_i xəbərinin kod sözünün uzunluğu $-\log p(x_i)/\log D = m_i$ bərabərdir.

Buna görə də son təpə nöqtələri m_1, \dots, m_M olan hər cür ağac müəyyən qaydada optimal kodu verir.

3.14.4. Şennon – Fano alqoritmi

Baxılan alqoritmi biri-birindən asılı olmadan R.Fano və K.Şennon təklif etmişlər. Alqoritm rekursiv üsulu özündə göstərir. Belə ki, verilmiş ehtimal paylanması əsasında, informasiya mənbəyinin çıxışında peyda olan simvollara uyğun prefiks kodları mərhələ-mərhələ yaradır. İnformasiya modeli çərçivəsində əlifbanın hər bir simvoluna ən birinci sıfır uzunluqlu kod və mənbəyinin çıxışında peyda olunma ehtimalına bərabər çəkilər qoyulur. Əlifbanın bütün simvolları çəkilərinə görə artma və ya azalma ardıcılığı ilə sıralanır. Sonra simvolların nizamlanmış sırası, onların çəkiləri cəmi təxminən bərabər olan iki hissəyə bölünür. Bu hissələrdən birinə daxil olan simvolların kodlarına «0», digərinə isə «1» əlavə olunur (əlavə kodun sağ mərtəbəsinə edilir). Asanlıqla başa düşmək olar ki, hissələrdən hər biri simvolların nizamlanmış sırasını özündə göstərir. Əgər bu sıralardan hər biri, birdən çox simvolu saxlayırsa, onda bu sıralarda öz növbəsində yuxarıda göstərilən qaydada iki hissəyə bölünür və simvolların kodlarına yenidən ikilik qiymət əlavə edilir. Proses hər sırada bir simvol qaldıqda başa çatır. Göründüyü kimi, Şennon – Fano alqoritmi həqiqətən kod ağacı qurmaq deyil, lakin onun əsasında belə qurum mümkündür.

Binar ağacın bir nöqtəsindən şaxələnmə zamanı simvolların qruplara bölünməsi baş verir. Ağacın kökündən yarpaqlarına qədər hərəkət marşrutuna və kodlarına uyğun olaraq sıfır və bir mənimsənilir. Aşağıdakı şəkildə Şennon – Fano alqoritminin iş nümunəsi göstərilmişdir. Bu halda informasiya mənbəyinin məlumat modeli, yaddaşsız bir mənbə kimi qəbul edilir. Bu modeldə peyda olan simvolların ehtimalları, onların tezliklərlə əvəz edilmişdir. Bundan sonra bu modelə sıfır modeli kimi istinad olunacaq. Bu üsulla dəyişən uzunluqlu kodlar sistemini qurmaq nə dərəcədə əsaslandırılıb? Necə göstərmək olar ki, hətta prefiks

kodlaşdırma zamanı o universal deyil. Bunu isbat etmək üçün peyda olunma ehtimalları $5/13$, $2/13$, $2/13$, $2/13$ və $2/13$ bərabər 5 simvolun optimal sistemli prefiks kodlarını tapmaq kifayət edir və Şennon – Fano alqoritmilə alınan sistem onu sübut edir ki, bu halda o, az sərfəlidir. Buna baxmayaraq, Şennon – Fano alqoritmi kifayət qədər səmərəlidir. Asanlıqla göstərmək olar ki, peyda olunma ehtimalı p olan simvolun bu alqoritmədən istifadə etməklə alınan kodunun uzunluğu, nəzəri cəhətdən – $\log_2 p$ optimal qiymətdən 1 bit çoxdur. Ümumiyyətlə, Şennon – Fano alqoritmının effektivliyi Haffman optimal prefiks kodlaşdırma alqoritmindən bir az geri qalır.

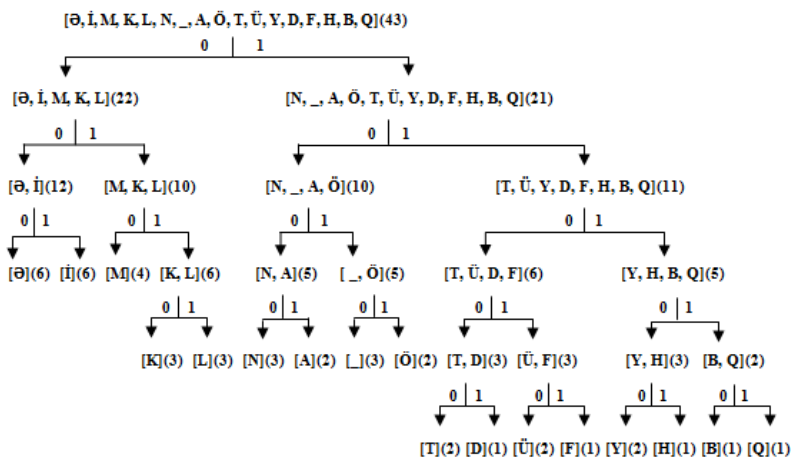
Kodlaşdırılan məlumat

«*ÖLKƏNİN MÜDAFİƏ QABİLİYYƏTİNİ MÖHKƏMLƏTMƏK*»

Məlumatda peyda olunan simvolların statistikas:

Ö(2), L(3), K(3), Ə(6), N(3), İ(6), M(4), Ü(2), D(1), A(2), F(1), Q(1), B(1), Y(2), T(2), H(1), _ (3)

Prefiks kodlar sisteminin qurulması:



Prefiks kodlar sistemi:

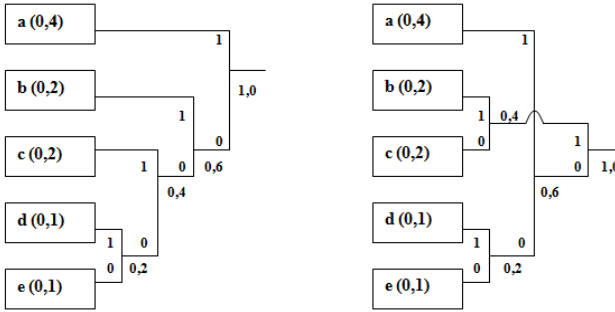
Ə	İ	M	K	L	N	-	A	Ö	T
000	001	010	0110	0111	1000	1010	1001	1011	11000
Ü	Y	D	F	H	B	Q			
11010	11100	11001	11011	11101	11110	11111			

Şəkil 3.3. Şennon – Fano alqoritminin iş nümunəsi

3.14.5. Haffman alqoritmı

Yuxarıda qeyd etdik ki, Şennon – Fano alqoritminin köməylə kod ağacını qurmaq mümkündür. Bunun üçün ağacın kök hissəsindən yarpaqlarına doğru hərəkət marşrutunu seçmək lazımdır. Lakin D. Haffman kod ağacını qurmaq üçün yarpaqlardan kök hissəyə doğru hərəkət marşrutunu seçməyi təklif etmişdir. Belə yanaşma daha təsirli oldu və çox geniş yayılmışdır. Alqoritm ilkin mərhələdə məlumat əlifbasının hər bir simvoluna, onun peyda olunma ehtimalına (tezliyinə) bərabər çəkini təyin edir. Bir siyahıda bu simvollar çəkilərinin azalma sırası ilə yerləşdirilir. Hər bir addımdan sonra siyahıda olan axırıncı iki element birləşərək yeni bir elementlə əvəz olunur və bu elementə əvəz olunan elementlərin çəkiləri cəminə bərabər bir ağırlıq verilir. Hər addımdan sonra həmişə köhnə siyahı bir element az olan yeni siyahı ilə əvəz olunur. Bu prosedur işləri ilə paralel olaraq, kod ağacının qurulması həyata keçirilir. Nə zaman ki, siyahıda ikilik ağacın başlanğıcına (kökünə) uyğun bir element qalır, o zaman alqoritm öz işini başa çatdırır. Bu proses nəticəsində qurulan ağaca Haffman ağacı deyilir. Bu ağacın tillərinə müəyyən ikilik ədəd mənimsətmək yolu ilə prefiks kodlar sistemini almaq olar. Həqiqətdə əlifbanın bir neçə simvolu eyni ehtimallı ola bilər. Bu halda kodlaşdırma necə həyata keçirilir?

Kod variantlarından hansı daha effektiv ola bilər? Bir misala baxaq.



Şəkil 3.4. Kod ağacının qurulma variantları

Əlifbanın beş simvolu ehtimalları ilə birlikdə verilmişdir: **a (0,4), b (0,2), c (0,2), d(0,1), e(0,1)**. Əlifbanın entropiyası

$$H = -\sum_1^5 p \log p = 2,15$$

Müxtəlif variantlarda qurulan kod ağacının, ağacın yuxarı budağı üzrə hərəkətə kodun «1» qiyməti, aşağı budağı üzrə hərəkətə isə «0» mənimsədir. Kodlaşdırmanın nəticəsi: **I variant: 1 01 001 0001 0000; II variant: 01 11 10 001 000**. Bu kodlardan hansının daha effektiv olmasını müəyyən etməkdən ötrü, təsadüfi proseslərin ədədi xüsusiyyətlərini göstərən dispersiyadan istifadə edək. Dispersiya orta qiymətdən kənara çıxmanı xarakterizə edir. Bizim misalda dispersiyanın qiyməti entropiyanın qiymətindən kodların uzunluğunun kənara çıxmasını göstərir. **I** kodlar üçün dispersiya

$$D_1 = 0,4(1-2,15)^2 + 0,2(2-2,15)^2 + 0,2(3-2,15)^2 + 0,1(4-2,15)^2 + 0,1(4-2,15)^2 = 1,34$$

II kodlar üçün dispersiya

$$D_2=0,4(2-2,15)^2+2[0,2(2-2,15)^2]+2[0,1(3-2,15)^2]=0,52$$

Aparılan hesablamalar göstərir ki, **II** kodlar daha yığcamdır və onun tətbiq olunması mətni səmərəli kodlaşdırmağa imkan verir.

Baxılan misal, bərabər ehtimallı ikidən çox simvolları olan əlifbanın düzgün kodlaşdırılmasını qısaca və dürüst ifadə etməyə imkan verir: ***Kod ağacı ən aşağı ehtimallı ən azı iki qovşağı saxlayırsa, onda ən aşağı və ən yüksək ehtimallı simvolları birləşdirməklə kodların ümumi dispersiyasını azaltmaq olar.***

Prefiks kodları ilə Haffman alqoritminin optimal olduğunu isbat edək.

Bunun üçün göstərmək lazımdır ki, bu alqoritmlə alınan sistem kodları,

$$\sum_{i=1}^N 2^{-l_i} \leq 1$$

Kraft bərabərsizliyini ödəmək şərtilə, cəmin minimallaşdırılması məsələsini həlli olur. Simvolların l_1, l_2, \dots, l_N –

$$\sum_{i=1}^N l_i p_i$$

kodların uzunluqları, p_1, p_2, \dots, p_N ilə peyda olunma ehtimalları qeyd edilib. Sadəlik üçün fərz edək ki, $p_1 \geq p_2 \geq \dots \geq p_{N-1} \geq p_N$ ödənilir.

Onda aydındır ki, $\{l_1, l_2, \dots, l_N\}$, $l_1 \leq l_2 \leq \dots \leq l_{N-1} \leq l_N$ münasibətini ödəməlidir. İsbat edək ki, $l_{N-1} = l_N$. Fərz edək ki, bərabərlik ödənmir, yəni $l_{N-1} < l_N$. Kraft bərabərsizliyini aşağıdakı şəkildə göstərik:

$$2^{l_N - l_1} + 2^{l_N - l_2} + \dots + 2^{l_N - l_{N-1}} + 1 \leq 2^{l_N}$$

Fərziyyəyə görə $l_1 \leq l_2 \leq \dots \leq l_{N-1} < l_N$ olduğunu nəzərə alsaq verilən bərabərsizlik ciddidir. Belə ki,

Buna görə,

$$2^{l_N - l_1} + 2^{l_N - l_2} + \dots + 2^{l_N - l_{N-1}} + 2 \leq 2^{l_N}$$

yazmaq olar. Bu bərabərsizliyi aşağıdakı şəkildə yazaq:

$$\sum_{i=1}^{N-1} 2^{-l_i} + 2^{-(l_N - 1)} \leq 1$$

Beləliklə, $\{l_1, l_2, \dots, l_N\}$ sistemi göstərilən məsələnin həlli olmayacaqdır, çünki Kraft bərabərsizliyini ödəyən daha əlverişli $\{l_1, l_2, \dots, l_{N-1}\}$ sistem mövcuddur. Buna görə də, ilkin şərt $l_{N-1} < l_N$ səhvdir. Beləliklə $l_{N-1} = l_N$ olduqda, minimallaşdırma məsələsi bir qədər də sadələşir: aşağıdakı şərt ödəndikdə

$$\sum_{i=1}^{N-2} 2^{-l_i} + 2^{-l_N} + 2^{-l_N} = \sum_{i=1}^{N-2} 2^{-l_i} + 2^{-(l_N - 1)} = \sum_{i=1}^{N-1} 2^{-l_i} \leq 1$$

cəmin minimallaşdırılması məchul kəmiyyətlərin sayını N-dən, (N-1) -ə qədər azaldır.

$$\sum_{i=1}^{N-2} l_i p_i + (l_N - 1)(p_{N-1} + p_N) + (p_{N-1} + p_N) = \sum_{i=1}^{N-1} l'_i p'_i + p'_{N-1}$$

Burada $l'_1 = l_1, l'_2 = l_2, \dots, l'_{N-2} = l_{N-2}, l'_{N-1} = l_N - 1$ və

$$p'_1 = p_1, p'_2 = p_2, \dots, p'_{N-2} = p_{N-2}, p'_{N-1} = p_{N-1} + p_N$$

Təklif olunan prosedurla məchulların sayının azaldılması Haffman alqoritmindən başqa bir şey deyildir. Belə ki, Haffman ağacının qurulması nəticəsində alınan kodlaşdırma sistemi, optimal prefiks kodları sistemi olur.

3.14.6. Haffman kodlarının dekodlaşdırılması

Dekodlaşdırma üçün dekodlaşdırıcıda ya kod cədvəlinin, ya da kod ağacının olması lazımdır. Hər iki halda, sıxılmış faylla birlikdə kanala əlavə məlumatlar yüklənir. Sıxılmış faylla bir-

likdə simvolların tezliyinin ötürülməsi daha təsirli hesab olunur. Əlifba üçün Haffman ağacını qurmaqdan ötrü faylın əvvəlini oxumaq lazımdır. Birinci ikilik simvolu aldıqdan sonra, dekodlaşdırıcı ona uyğun ağacın budaqları boyunca hərəkətə başlayır. Belə ki, dekodlaşdırıcı «1» simvolunu aldıqda yuxarı budaq üzrə, «0» simvolunu aldıqda isə aşağı budaq üzrə birinci düyünə qədər hərəkət edəcəkdir. Növbəti ikilik simvol daxil olan zaman budaq üzrə hərəkət növbəti düyünə qədər davam edəcəkdir və s.

3.15. Xemminq kodu

İlk növbədə Xemminq kodu nədir və həqiqətən onun ləziz olduğunu deməliyik.

Xemminq kodları - özünü kontrol edən və özünü korrekte edən ən məşhur kodlardır. Onlar ikilik kodlara uyğun qurulur. Buna görə, əvvəlcə ikilik kodları nəzərdən keçirək, yəni nizamlanmış n ədəddən ibarət $\{x_1, \dots, x_n\} \subset \{0, 1\}$

(x_1, \dots, x_n) sətirlər dəstinə baxaq. Bu çoxluqda 0 yaxud 1 vurma əməlinə və modul 2 görə mərtəbələri toplama əməlinə baxılır:

$$\begin{aligned} (x_1, \dots, x_n) \oplus (y_1, \dots, y_n) &= (x_1 \oplus y_1, \dots, x_n \oplus y_n) = \\ &= (x_1 + y_1 \pmod{2}, \dots, x_n + y_n \pmod{2}) \end{aligned}$$

Bu əməllərə görə baxılan çoxluq xətti fəza əmələ gətirir. Biz bunu \mathbb{V}^n işarə edək və onu sətir-vektorlar fəzası adlandırmaq. Bu fəza $2n$ sayda vektordan ibarətdir.

3.15.1. Xemminq məsafəsi

\mathbb{V}^n fəzasından götürülmüş $B=(b_1, b_2, \dots, b_n)$ və $C=(c_1, c_2, \dots, c_n)$ vektorları arasında Xemminq məsafəsi bu sözlərdə bir-bi-

rindən fərqli mərtəbələrin sayına bərabərdir. Onu $\rho(B, C)$ işarə edək.

$$\rho(B, C) = \sum_{j=1}^n [(1 - b_j)c_j + (1 - c_j)b_j]$$

Xemminq çəkisi $B=(b_1, b_2, \dots, b_n)$ vektorunun sıfırdan fərqli koordinatlarının sayına bərabərdir, onu $\omega(B)$ işarə edəcəyik. Deməli, $\omega(B) = b_1 + \dots + b_n$, $\rho(B, C) = |b_1 - c_1| + \dots + |b_n - c_n| = \omega(B - C)$

Xemminq məsafəsi \mathbb{V}^n fəzasında metrika əmələ gətirir, yəni istənilən $\{X_1, X_2, X_3\} \subset \mathbb{V}^n$ vektorlar üçün aşağıdakı xassələr yerinə yetirilir:

1. $\rho(X_1, X_2) \geq 0$ və $\rho(X_1, X_2) = 0$ ancaq və ancaq nə vaxt ki, $X_1 = X_2$;
2. $\rho(X_1, X_2) = \rho(X_2, X_1)$
3. $\rho(X_1, X_3) \leq \rho(X_1, X_2) + \rho(X_2, X_3)$ (üçbucaq bərabərsizliyi)

Tutaq ki, \mathbb{V}^n çoxluğundan s vektoru saxlayan, ixtiyari U alt çoxluğu seçilmişdir: $U = \{U_1, \dots, U_s\}$. Bu vektorları kod sözləri hesab edəcəyik, yəni rabitə kanalının girişinə ancaq bu vektorlar veriləcəkdir. U çoxluğunun özü kod adlanacaq. Bu vektorlar rabitə kanalından keçən zaman səhvlər ola bilər (kənar təsirlərin nəticəsində səs-küy salmaqla). Çıxışda alınan hər bir vektor U çoxluğunda ona yaxın olan kod sözü ilə dekodlaşdırılacaqdır. Belə ki, "yaxşı" mənbə - səhvlərin sayını korrektə mənalarında - kod sözlərini bir-birindən aralı olan U kodu kimi qəbul edə bilər. Digər tərəfdən, kod sözlərinin sayı kodu mənalı istifadə etmək üçün kifayət qədər çox olmalıdır. Hər halda biz $s > 1$ hesab edəcəyik. U kodunda olan müxtəlif kod sözləri arasında minimum məsafə aşağıdakı kimi hesablanır:

$$d = \min_{\substack{\{j,k\} \subseteq \{1,\dots,s\} \\ j \neq k}} \rho(U_j, U_k)$$

d kod məsafəsi adlanır. Hərdən bir onu $d(\mathbb{U})$ yazırlar.

Teorema. d kod məsafəsilə U kodu

a) 1 - dən $d - 1$ qədər səhvi (lakin çox olmayan) tapa bilər;

b) 1 - dən $(d - 1)/2$ qədər səhvi düzəltmək olar.

İsbatı:

a) Əgər U_1 - verilmiş kod sözləridirsə, V isə - kanalın çıxışında alınmış τ səhvi vektordursa, onda $\rho(U_1, V) = \tau$.

Əgər V başqa U_2 kod sözü ilə üst-üstə düşərsə, onda biz səhv tapa bilməyəcəyik, yəni $\rho(U_2, V) = 0$ şərtinə görə. $\tau \leq d - 1$ şərti daxilində $\rho(U_2, V)$ qiymətləndirək. Üçbucaq bərabərsizliyinə görə alırıq:

$$\rho(U_2, V) \geq \rho(U_1, U_2) - \rho(U_1, V) \geq d - \tau \geq 1 > 0 .$$

b) fərz edək ki, $2\tau \leq d - 1$. Onda mühakimə belə bir nəticəyə gətirəcək

$$\rho(U_2, V) \geq d - \tau \geq (2\tau + 1) - t > \tau = \rho(U_1, V) ,$$

yəni V vektoru istənilən başqa kod sözlərindən, U_1 koduna yaxındır.

3.15.2. Xemminq alqoritmi

Bu alqoritm hər hansı bir informasiyanı kodlaşdırmaya imkan verir və ötürülmə zamanı (məsələn şəbəkədə) bu məlumatda bir səhv (misal üçün maneə ucbatından) çıxarsa, onu təyin edir və mümkün olduqda bu informasiyanı bərpa edir.

Əvvəlcə ən sadə bir səhvi düzəldə bilən Xemmingq alqoritminə baxaq. Qeyd edək ki, bu alqoritmin təkmilləşdirilmiş modifikasiyası var ki, çoxlu sayda səhvləri aşkar edə bilir. Xemmingq kodu iki hissədən ibarətdir. Birinci hissə ilkin məlumatları kodlaşdırır, onlara müəyyən yerlərdə nəzarətəddici bitlər qoyur (xüsusi şəkildə hesablanır). İkinci hissəsi gələn informasiyanı alır və nəzarətəddici bitləri yenidən hesablayır. Əgər yeni hesablanmış nəzarətəddici bitlər alınanla üst-üstə düşərsə, onda informasiya səhvsiz qəbul edilir. Əks halda, məlumatda səhv çıxarılır və səhv mümkün olduqda korrektə edilir. Alqoritmin işini anlamaq üçün bir misala baxaq. Tutaq ki, bizim "habr" məlumatımız var, onu səhvsiz ötürmək lazımdır. Bunun üçün əvvəlcə məlumatı Xemmingq kodu ilə kodlaşdıraraq. Bizə onu ikilik formada təqdim etmək lazımdır.

Simvol	ASCII kodu	İkili göstərmə
h	68	01000100
a	61	00111101
b	62	00111110
r	72	01001000

İlk mərhələdə informasiya sözünün uzunluğunu, yəni bizim sıfır və birlərdən ibarət kodlaşdırdığımız sətirin uzunluğunu müəyyən etməkdir. Tutaq ki, bizim sözün uzunluğu 16 bərabərdir. Beləliklə, bizim "habr" xəbəri bir-birindən ayrı 16 bitlik kodlara ayırmaq lazımdır. Belə ki, bir simvol yaddaşda 8 bit yer tutur, onda bir kod sözündə iki ASCII simvolu yerləşəcək. Deməli, biz 16 bitlik iki binar sətir aldığımızı.

h	a
01000100	00111101

və

b	r
00111110	01001000

Bu prosesdən sonra xəbərin hər iki hissəsi bir-birindən asılı olmadan kodlaşdırılır. Birinci hissənin necə kodlaşdırıldığına baxaq. İlk növbədə, nəzarətəddici bitləri qoymaq lazımdır. Onlar ciddi, müəyyən olunmuş yerlərdə qoyulur - bu mövqelərin nömrəsi ikinin dərəcəsinə bərabərdir. Bizim halda (informasiya sözünün uzunluğu 16 bitdir) bu mövqelər 1,2,4,8,16 olacaq. Uyğun olaraq biz 5 nəzarətəddici bit aldığımızı.

Bu idi:

h	a
01000100	00111101

oldu:

h	a
000010000100	001011101

Nəticədə, xəbərin uzunluğu cəmi 5 bit çoxaldı. Nəzarətəddici bitlərə hesablanmadan əvvəl "sıfır" qiyməti mənimsədir.

Nəzarətəddici bitlərin hesablanması.

İndi hər bir nəzarətəddici bitləri hesablamaq lazımdır. Hər bir nəzarətəddici bitlərin qiyməti informasiya bitlərinin qiymətindən (gözlənilmədən) asılıdır, lakin yalnız o informasiya bitlərindən ki, onlara nəzarət edir. Hər bir nəzarətəddici bitin hansı bitlərə cavabdeh olduğunu başa düşmək üçün çox sadə qanunauyğunluğu başa düşmək lazımdır: N nömrəli nəzarətəddici bit, N mövqedən başlayaraq bütün növbəti N bitə nəzarət edir. Bu deyilənlər aşağıdakı şəkildə əyani olaraq göstərilmişdir.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	
X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	1
	X	X			X	X			X	X			X	X			X	X			2
			X	X	X	X					X	X	X	X					X	X	4
							X	X	X	X	X	X	X	X							8
															X	X	X	X	X	X	16

Burada "X" işarəsilə o bitlər göstərilir ki, nəzarətədiçi bitlər ona nəzarət edir. Yəni, misalda 12 nömrəli bitə 4 və 8 nömrəli bitlərlə nəzarət olunur. Aydınır ki, N nömrəli bitə hansı bitlərin nəzarət etdiyini bilməkdən ötrü N ikinin dərəcələrinə görə ayırmaq lazımdır. Hər bir nəzarətədiçi bitlərin qiyməti necə hesablanır? Bu çox sadə edilir: Hər bir nəzarətədiçi biti götürüb onun nəzarət etdiyi bitlərdəki vahidlərin sayına baxırıq, hər hansı bir tam ədəd alınacaq. Əgər alınan ədəd cütdürsə, onda nəzarətədiçi bitə sıfır, əks halda vahid qoyuruq. Burada, əlbəttə əksinə də etmək mümkün idi. Əgər ədəd cütdürsə, onda vahid, əks halda sıfır qoymaq olardı. Əsas odur ki, alqoritmin "kodlaşdırma" və "dekodlaşdırma" hissələri eyni olsun. Biz ilk seçimdən istifadə edəcəyik.

Biz informasiya sözləri üçün nəzarətədiçi bitləri hesablayıb aşağıdakıları alırıq:

h	a
100110000100	001011101

və ikinci hissə üçün:

b	r
100101101110	010101000

Beləliklə, alqoritmin birinci hissəsi tamamlandı.

h	a
100110000110	001011101

Alqoritmin bütün ikinci hissəsi (birinci hissəsində olduğu kimi) ondan ibarətdir ki, bütün nəzarətedici bitləri yenidən hesablamaq lazımdır və onları bizim aldığımız nəzarətedici bitlərlə müqayisə etmək lazımdır. Deməli, hesablanmış nəzarətedici bitlərlə yalnız 11 bit düzgün olmayacaq, biz aşağıdakı şəkili alırıq:

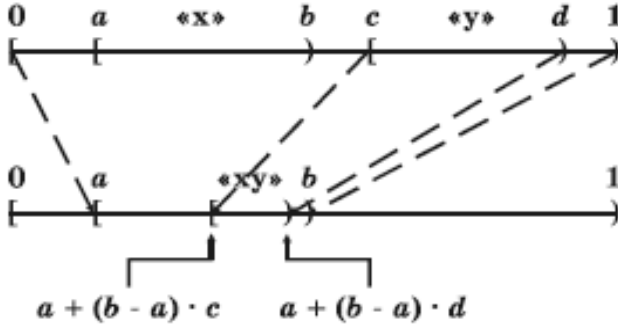
h	a
010110010110	0010111101

Göründüyü kimi, nəzarətedici bitlər 1, 2, 8 bizim aldığımız nəzarətedici bitlərlə üst-üstə düşmür. İndi sadəcə düzgün olmayan nəzarətedici bitlərin nömrələrini toplayıb, səhv bitin mövqeyini alırıq. İndi sadəcə o dəyişməni çevirib, əzəli ilkin məlumatı alırıq. Analoji olaraq məlumatın ikinci hissəsi davam etdirilir. Bu misalda informasiya kodunun uzunluğu 16 bit götürülmüşdür, lakin hər hansı bir uzunluq götürülə bilər.

3.16. Hesabi kodlaşdırma

Hesabi kodlaşdırma metodu kodların əmələ gəlməsi üçün olduqca qeyri-adi yanaşmadan istifadə edir. Bu yanaşmanın obyektiv mürəkkəbliyinə baxmayaraq, onun əsasını təşkil edən ideya çox sadədir. Hesabi kodlaşmanın istənilən iş mərhələsində $[0,1)$ intervalı, informasiya əlifbasının hər hansı bir simvoluna uyğun $[a, b)$ tip intervallara bölünür. Ədədi intervalın uzunluğu informasiya mənbəyinin çıxışında simvolun yaranması ehtimalı ilə üst-üstə düşür. Əgər $[0, 1)$ intervalından istənilən həqiqi ədədi seçsək, o müəyyən simvola tam uyğun bölünən bir intervala aid olacaqdır. Beləliklə, ədəd həmişə əlifbanın simvolunu birmənalı müəyyən edir. Tutaq ki, xəbərdə rast gəlinən «x» simvolu $[a, b)$

intervalına və arxasınca gələn «y» simvolu $[c, d)$ intervalına uyğundur. Əvvəlcə $[a, b)$ intervalını $[0, 1)$ intervalına proyeksiya edək. Sonra $[c, d)$ intervalını $[a, b)$ intervalına proyeksiya etmək nəticəsində $[a+(b-a) \cdot c, a+(b-a) \cdot d)$ intervalı alınır. Bu intervaldan olan istənilən ədəd «xy» ardıcılığını birmənalı müəyyən edəcəkdir.



Şəkil 3.5. Hesabi kodlaşdırma işinə nümunə

Analoji olaraq üç və daha çox simvollar ardıcılığı üçün intervalları qurmaq olar. Hər dəfə yeni simvolu əlavə etdikdə interval daralacaqdır. Bu proses nəticəsində kifayət qədər kiçik interval alınacaqdır ki, istənilən ədəd ilkin xəbəri birmənalı müəyyən edəcəkdir. Adətən, belə ədəd olaraq intervalın aşağı həddi seçilir. Prefiks kodlaşmadan fərqli olaraq, hesabi kodlaşmada simvola qarşı hər hansı bir kod qoyulmur. Bu halda «kod» anlayışı müəyyən qədər abstraktdır və bütövlüklə xəbərə tətbiq olunur. Belə kodu hərdənbir bölünməz kod adlandırırlar. İndi, hesabi kodlaşdırmaya aid bir misala baxaq.

Fərz edək ki, «aaab» xəbərini kodlaşdırmaq lazımdır. Xəbərdə «a» simvolunun yaranma tezliyi $3/4$, «b» simvolunun yaranma tezliyi isə $1/4$ bərabərdir. Buna görə də, «a» simvoluna uyğun olaraq $[0, 3/4)$ intervalını, «b» simvoluna isə

[$3/4$, 1) intervalını qarşı qoymaq olar (sıfır modeli istifadə olunur). Baxılan xəbərə hesabi kodlaşdırmanı tətbiq edək. «aa» ardıcılığına uyğun interval [$0+(3/4-0) \cdot 0$, $0+(3/4-0) \cdot 3/4$]=[0 , $9/16$), «aaa» ardıcılığına uyğun interval [$0+(9/16-0) \cdot 0$, $0+(9/16-0) \cdot 3/4$]=[0 , $27/64$) və nəhayət «aaab» ardıcılığına [$0+(27/64-0) \cdot 3/4$, $0+(27/64-0) \cdot 1$]=[$81/256$, $27/64$) intervalı qarşı qoyulacaqdır. $96/256=3/8$ ədədi alınan intervala daxildir. Bu ədədi 2–lik sistemdə göstərsək **0.011** ədədinə bərabər olar. Beləliklə, «aaab»→**011** xəbərini kodlaşdırmaq üçün **3** bit kifayətdir (2–lik ədədin tam hissəsi sıfıra bərabər olduğu üçün onu atmaq olar). Qeyd edək ki, göstərilən xəbəri kodlaşdırmaq üçün prefiks kodlaşmadan istifadə etsək, minimum **4** bit lazımdır. Kodlaşdırma üçün biz başqa ədədi də götürə bilərdik, məsələn, **81/256**. Onda kodun uzunluğu **3** bit deyil, **8** bit olacaq. Belə ki, **81/256** ədədinin 2–lik forması **0.01010001** bərabərdir. Aydın ki, bu halda informasiyanın göstərilməsi olduqca yararsız olacaqdır. Kifayət qədər uzun məlumatları emal etdikdə hesabi kodlaşdırma, optimal kodlaşdırma nəzəriyyəsinə uyğun nəticə verir. Lakin sonlu həcmli informasiyalara tətbiq olunduqda hesabi kodlaşdırma bir qədər optimal kodlaşmadan geri qalır. İsbat edək ki, bu uyğunsuzluq nəzəri cəhətdən ən azı bir vahid az informasiya təşkil edir.

Tutaq ki, yuxarıda təsvir olunan proseslə intervalların bir-birinə daxil olması nəticəsində uzunluğu **p** olan [**a**, **b**) intervalını almışıq. Bizə lazımdır ki, bu intervaldan **m** mərtəbəli ədəddən kiçik müəyyən ədədi seçək. Göstərilən sistemin əsası **m** – dir. Bunun üçün [**0**, **1**) intervalında dövrü **m^N** bərabər nöqtələr ardıcılığına baxaq. Bu nöqtələr ardıcılığını elə seçək ki, onlardan biri [**a**, **b**) intervalına daxil olsun. Aydın ki, axtarılan ədəd

$$\frac{1}{m^N} \leq p$$

şərtini ödəyəcəkdir. Buradan alırıq ki, $N = [-\log_{mp}]$. Beləliklə, kod ədədi $[-\log_{mp}] < [-\log_{mp}] + 1$ mərtəbəli olmalıdır. Hesabi kodlaşdırmada intervalların seçilməsi şərtidir. Belə ki, yuxarda baxdığımız misalda «a» simvoluna uyğun olaraq $[1/4, 1)$ intervalını, «b» simvoluna isə $[0, 1/4)$ intervalını götürə bilərik. Bununla belə intervalların uzunluqları dəyişməyəcək, dəyişən intervalların $[0, 1)$ intervalında yerləşəcəyi yer olacaqdır. Hesabi kodlaşdırma zamanı kod simvollarının kombinasiyası (birləşməsi) sərbəst götürülür.

3.17. Diskret məlumatlar ardıcılığının itkisiz qənaətlə kodlaşdırma metodları

Kodun yaranması problemi hesabi kodlaşdırma metodunun tətbiqi ilə həqiqətən öz həllini tapmışdır. O vaxtdan bəri diqqət modelləşdirmə ilə bağlı məsələlərə verilmişdir. Diskret məlumatlar ardıcılığının itkisiz qənaətlə kodlaşdırma metodlarını şərti olaraq üç qrupa bölmək olar: *statistik metodlar, lüğət üsulları və kontekstual (mətnin mənacə bitmiş olan hissəsi) üsullar*. İlk iki qrup statistik və lüğət üsulları əsasında yaranır. Onlar olduqca çoxdur və demək olar ki, hamısı diskret informasiyanı qənaətlə kodlaşdırma sahəsində mövcud yanaşmaları əks etdirir. Baxmayaaraq ki, III qrup üsullar çoxdur, informasiya modelinin növünü təsnif etmək çətindir. Bugünkü gündə kontekst qrupuna iki əsas metod daxil edilmişdir ki, onlardan birini daha çox lüğət modelinə aid etmək olar, digəri isə nə lüğət, nə də statistik modelə aid deyil. Sadalanan qruplara daxil olan əsas metodlara baxaq.

3.18 Lüğət üsulları

Lüğət üsulları lüğət adlı məlumat strukturuna əsaslanan lüğət modelindən istifadə edir. Lüğət üsulundan istifadə zamanı lüğətə artıq emal olunan məlumat əlavə edir. Onun əsasında kodlaşdırma həyata keçirilir. Kodlaşma mənbəyinin çıxışına daxil olan simvollar ardıcılığı şifrələnmə zamanı lüğətdə onlarla eyni olan elementlərə istinad etməklə kodlaşdırılır. Lüğət üsulları birbirindən lüğətin təşkili, üst-üstə düşən elementlərin axtarışı və tapılan elementlərə istinada görə fərqlənirlər. Aşağıda, biz informasiyanı qənaətlə kodlaşdırmaq üçün istifadə olunan lüğət üsullarının ən mühüm inkişaf istiqamətlərini əks etdirən alqoritmlərə baxacağıq.

3.19. Alqoritm LZ77

Alqoritm LZ77 1977 – ci ildə nəşr edilmişdir. İsrail riyaziyyatçıları Y.Ziv və A.Lempel tərəfindən hazırlanmışdır. Bir çox proqramlar informasiyanı sıxmaq üçün LZ77 alqoritmünün bu və ya digər modifikasiyalarından istifadə edir. LZ alqoritmünün geniş tətbiq olunma səbəblərindən biri onun olduqca sadə və yüksək sıxma effektivliyinə malik olmasıdır. LZ77 məlumatın baxılan hissəsindən lüğət kimi istifadə edir. Sıxmaya nail olmaqdan ötrü məlumatın növbəti fraqmentini lüğətin saxladığı göstərici ilə əvəz edir. LZ77 iki bərabər olmayan pəncərədən istifadə olunur və məlumat bu pəncərələrdə sürüşdürülür. Birinci böyük pəncərəyə məlumatın artıq baxılan hissəsi daxil olur. İkinci bir qədər kiçik hissə bufer adlanır və simvolların hələ baxılmayan hissəsini saxlayır. Adətən, pəncərənin ölçüsü bir neçə **kilobayt** , buferin ölçüsü isə ən çoxu **100 bayta** bərabər olur. Alqoritm lüğətdə buferin onunla üst-üstə düşən fraqmentini tapmağa çalışır.

Alqoritm üç elementdən ibarət kodları göstərir:
- sürüşmə lüğətdə buferin əvvəli ilə üst-üstə düşən
altsətrin əvvəlini;

- bu altsətrin uzunluğunu;

- buferdə altsətrin arxasınca gələn simvolu.

**Misal. Pəncərənin ölçüsü–24 simvol, lüğət–16 simvol,
bufer isə-8 simvol. Kodlaşdırılan məlumat:**

«İNFORMASIYA_İNFORMATİKANIN_ƏSASIDIR».

Tutaq ki, lüğət artıq «...İNFORMASIYA- » sətirini, bufer isə «İNFORMAT» sətirini saxlayır. Baxılan lüğətdə, alqoritm üst-üstə düşən «İNFORMA» altsətri tapacaqdır. Lüğətdə o uzunluğu 7 simvola bərabər və «0» sürüşmə ilə yerləşəcəkdir. Beləliklə, çıxış kodu «4,7,T» olacaqdır. Bundan sonra alqoritm pəncərənin saxladığı sətiri üst-üstə düşən altsətrin uzunluğu+1 qədər sola sürüşdürəcək və eyni zamanda o qədər də simvolu girişdən buferə oxuyacaqdır. Nəticədə lüğətdə «RMASIYA-İNFORMAT» sətirini, buferdə isə «İKANIN-Ə» sətirini alacağıq. Bu halda lüğətlə üst-üstə düşən bir simvol tapılacaqdır və alqoritm «4,1,K» kodunu verəcək. Bundan sonra pəncərə bir simvol sürüşəcəkdir və s. LZ77 kodlarını dekodlaşdırmaq, onların alınmasından da asandır, yəni lüğətdə axtarış aparmaq lazım deyil.

LZ77 çatışmayan cəhətləri:

1) lüğətin ölçüsü artdıqca, alqoritmin iş sürəti uyğun nisbətdə azalır;

2) tək simvolların kodlaşdırılması olduqca səmərəsizdir.

Lüğətə lazımsız istinaqları aradan qaldırmaqla tək simvolların kodlaşdırılmasını effektiv etmək olar.

Misal 1. «YAĞIŞ-YAĞIR» sətirini LZ77 alqoritminə görə kodlaşdırın.

LÜĞƏT(6)						BUFER(5)					KOD
						Y	A	Ğ	I	Ş	<0, 0, Y>
				Y		A	Ğ	I	Ş	-	<0, 0, A>
			Y	A		Ğ	I	Ş	-	Y	<0, 0, Ğ>
		Y	A	Ğ		I	Ş	-	Y	A	<0, 0, I>
	Y	A	Ğ	I		Ş	-	Y	A	Ğ	<0, 0, Ş>
	Y	A	Ğ	I	Ş	-	Y	A	Ğ	I	<0, 0, ->
Y	A	Ğ	I	Ş	-	Y	A	Ğ	I	R	<1, 4, R>

Qeyd edək ki, sətirin axırncı hərfi «**R**» lüğətdən götürülmür. Kodun uzunluğu aşağıdakı şəkildə hesablanır: altsətrin ölçüsü buferin uzunluğundan çox ola bilməz, sürüşmə isə **lüğətin ölçüsü-1** çox ola bilməz. Buna görə də, sürüşmənin ikilik kodunun uzunluğu $\log_2(\text{lüğətin ölçüsü})$ ədədi böyük tərəfə yuvarlaqlaşdırılır, altsətir üçün ikilik kodun uzunluğu $\log_2(\text{buferin ölçüsü}+1)$ ədədi böyük tərəfə yuvarlaqlaşdırılır. Simvol isə **8 bitlə** kodlaşdırılır (məsələn, **ASCII+**). Burada alınan kodun uzunluğu $7*14=98$ bitə bərabərdir. Sətrin ilkin uzunluğu $11*8=88$ bitdir. **1982-ci ildə Storer və Şimanski LZ77** bazası əsasında **LZSS** alqoritmini işləyib hazırladılar ki, bu da öz məhsuldarlığı ilə LZ77-dən fərqlənir. LZSS alqoritminin verdiyi kod bir bit prefikslə başlayır ki, bu da kodlaşdırılmayan simvolu kodu olan simvoldan fərqləndirir. Kod bir cütdən ibarətdir: sürüşmə və uzunluqdan necə ki, LZ77 – də olduğu kimi. LZSS pəncərəsində sürüşmə tapılan altsətrin uzunluğuna bərabərdir yaxud da buferdəki altsətir lüğətlə üst-üstə düşürsə 1 bərabərdir. LZSS altsətrin uzunluğu həmişə sıfırdan böyükdür. Buna görə də altsətir üçün ikilik kodun uzunluğu – $\log_2(\text{buferin ölçüsü}+1)$ ədədi böyük tərəfə yuvarlaqlaşdırmaqla alınır.

Misal 2. «YAĞIŞ_YAĞIR» sətirini LZSS algoritminə görə kodlaşdırın.

LÜĞƏT(7)							BUFER(4)				KOD	L(KOD)
							Y	A	Ğ	I	0'Y'	9
						Y	A	Ğ	I	Ş	0'A'	9
					Y	A	Ğ	I	Ş	-	0'Ğ'	9
				Y	A	Ğ	I	Ş	-	Y	0'I'	9
			Y	A	Ğ	I	Ş	-	Y	A	0'Ş'	9
		Y	A	Ğ	I	Ş	-	Y	A	Ğ	0'-'	9
	Y	A	Ğ	I	Ş	-	Y	A	Ğ	I	1'1,4'	6
I	Ş	-	Y	A	Ğ	I	R				0'R'	9

Burada alınan kodun uzunluğu $7 \cdot 9 + 6 = 69$ bitə bərabərdir. Sətrin ilkin uzunluğu $11 \cdot 8 = 88$ bitdir.

LZ77 və LZSS aşağıdakı çatışmayan cəhətləri vardır:

1) lüğətdə bir-birindən uzaq məsafədə yerləşən altsətirləri kodlaşdırmaq mümkün deyil;

2) altsətirlərin uzunluqlarını bufer ölçüsündə kodlaşdırmaq olar.

Əgər lüğətin və buferin ölçüsü hədsiz dərəcədə artırılsa, bu kodlaşdırmanın effektivliyinin azalmasına səbəb olar. Bundan başqa, kodlaşdırıcı – alqoritimin iş vaxtı kəskin sürətdə artar.

3.20. Qrafiki informasiyanın göstərilməsi

Xarici aləmdə baş verən, hadisələr haqqında informasiyanı insan ən çox görməklə əldə edir. Alimlərin qiymətləndirilməsinə görə görməklə alınan informasiyanın miqdarı, ümumi informasiyanın miqdarınının 80% - dən çox deyil. Görmənin əhəmiyyəti, bioloji şəkildə insanın tarixi inkişaf prosesi ilə şərtləndirilir. Buna görə də insanın görmə orqanı, xüsusilə də beyinin görmə mərkəzi, informasiyanı böyük sürətlə emal etmə qabiliyyətinə malikdir.

Kompüterin meydana gəlməsi, onun informasiyanı sürətlə emal etməsi mütəxəssislərin kompüterdə şəkillərin saxlanması və emal edilməsi üsullarının hazırlanmasına yol açmışdır.

Qrafiki və səs informasiyalarını kompüterdə saxlamaq və emal etmək üçün əhəmiyyətli dərəcədə hesablama resursları tələb olunur. Bundan başqa, təbii yaranan informasiyalar kompüterdə xüsusi şəkildə saxlanılır. Əsas problem ondan ibarətdir ki, kompüter ancaq məhdud həcmdə informasiyanı saxlaya və işlədə bilər. Təbii informasiyaları diskret formaya çevirmək üçün onu **diskretləşdirmək** və **kvantlaşdırmaq** lazımdır.

Tərif 1. Informasiya daşıyıcıları olan, kəsilməz təbii siqnalların zaman və/yaxud məkandan asılılığının aradan qaldırılması üsulu diskretləşmə adlanır.

Məkanca diskretləşmədə şəkil kiçik sahələrə bölünür və bunun daxilində şəkil dəyişməz xarakterizə olunur.

Zamanca diskretləşmədə vaxt kiçik intervallara bölünür və intervallar daxilində təbii siqnallar, məkanda olduğu kimi dəyişməz xarakterizə olunur. Zaman daxilində diskretləşməyə əyani misal kino və televizoru göstərmək olar.

3.20.1. Şəklin diskretləşməsi nə üçün lazımdır?

Məkan *kəsilməzdir*, bu isə o deməkdir ki, onun istənilən sahəsində sonsuz sayda nöqtə var. Əgər biz *şəkli dəqiq yadda saxlamaq* istəyiriksə, onda onun hər bir nöqtəsini yadda saxlamaq lazımdır. Bu isə o deməkdir ki, kompüter bu cür şəkli saxlaya bilməz. Çünki onun yaddaşı məhduddur. Diskretləşmə ona görə lazımdır ki, məkan sonlu sayda elementlərə bölünsün və bu elementlər kompüterdə saxlanılsın. Məkanın digər elementləri diskretləşmə zamanı *itəcəkdir*.

Qrafiki şəkillər informasiya nöqtəyi-nəzərindən müstəvidə işıq siqnalları çoxluğundan ibarətdir. Hər bir işıq siqnalları yeri, rəng çalarları və parlaqlığı ilə fərqlənirlər. Rəng və parlaqlıq – şəkil nöqtəsini xarakterizə edir, onları **ölçmək** olar, yəni ədədlə ifadə etmək olar. Rəng və parlaqlıq kəsilməz olduğu üçün həqiqi ədədlərlə ifadə etmək olar. Lakin bu halda onları dəqiq kompüterdə göstərmək mümkün deyil. Buna görə də bütün kəsilməz xarakterizə olunan ölçülər (deyə ki, məsələn, şəkildə nöqtənin parlaqlığı yaxud ani səs tonu) kvantlaşmaya məruz qalır.

Tərif 2. Kəsilməz həcmdə olan bütün giriş qiymətlərini, ölçülə bilən diskret çıxış qiymətləri çoxluğuna çevirmə üsulu kvantlaşma adlanır.

Adətən, kvantlaşma zamanı müəyyən həcmdə mümkün qiymətlər ölçülə bilən bir neçə althəcmə bölünür və kompüterdə ancaq althəcmnin nöqtəsi saxlanılır. Diskretləşmə və kvantlaşma həmişə müəyyən qədər informasiyanın itirilməsinə gətirilir. Beləliklə, kompüterdə canlı təsvirin göstərilməsi həmişə orijinaldan fərqlənir. Məsələn, kompakt diskdə konsertin rəqəmlə yazılışı həmişə canlı səslənmədən fərqlənir, hətta bu fərq səslənmədə hiss olunmasa belə vardır. Orijinala rəqəmsal arasında dərəcə fərqi kompüter göstərilməsinin *subyektiv keyfiyyətini* müəyyən edir. Şəkillərin məkan zamanında diskretləşməsində *rastr (işdə tətbiq edilən torşəkilli optik cihaz)* və *vektor* göstərilməsindən istifadə olunur. Rastrı göstərilənlərin axını kimi, vektoru isə - şəkillərin strukturu kimi xarakterizə etmək olar.

3.20.2. Qrafiki informasiyanın vektor və rastr göstərilməsi

İlkin şəklin standart həndəsi fiqurların köməyiylə qurulması vektor göstərilməsi kimi təsvir olunur. Məsələn:

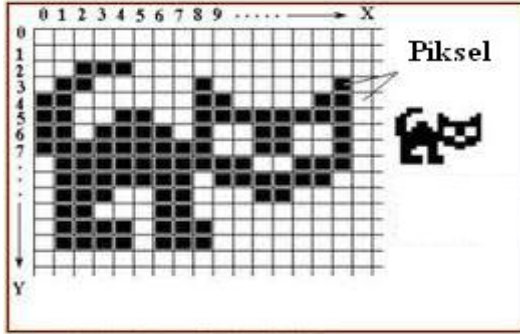


Standart yığımdan ibarət həndəsi fiqurlar elementar fiqurlar adlanırlar. Vektorlaşma zamanı şəkil təhlil edilib, sadə hissələrə bölünür. Sonra onların parametrləri saxlanılır: mövqeyi, ölçüləri və rəngi. Təbiətdə çoxlu növ şəkillər var ki, onlar yaxşı qurluşa malikdir və buna görə də vektorlaşma üçün çox əlverişlidir. Məsələn, qrafiklər, diaqramlar, sxemlər, planlar, xəritələr, bayraqlar və s.

Yaxşı qurluşa malik şəkillərdən fərqli olaraq elə şəkillər vardır ki, onlar dəqiq qurluşa malik deyillər. Bunlara fotosəkilləri, bədii şəkilləri, əlyazması olan mətnləri və s. aid etmək olar. Belə şəkillər ən azından vektorlaşma üçün yararsızdır. Bu cür şəkilləri saxlamaq üçün rastr göstərilmədən istifadə olunur: şəkil bütünlüklə çox kiçik elementlərə bölünür. Bununla belə vektor göstərilmədən vərqli olaraq, elementlərin ölçüləri və vəziyyətləri əvvəlcədən verilir və tamamilə şəklin ölçüsündən asılı olmur. Hər bir belə element çərçivəsində şəkil oxşar hesab olunur, yəni eyni bir rəng alır.

Şəkillərin elementlərə bölünmə qaydası rastr adlanır, elementlərin özü isə - piksel (pixel – picture element – şəkil elementi) adlanır. Adətən, piksellər o qədər kiçik olurlar ki, onları nöqtələrlə eyniləşdirmək olar. Şəkillərin piksellərə bölünməsi prosesi, şəkillərin rəqəmlərlə göstərilməsi adlanır.

Tərif 4. Rastr – şəkli göstərən piksellər çoxluğudur. Rastr müəyyən olunan zaman piksellərin koordinatları, forma və ölçüləri verilir. Piksellərin dəyişən atributu rəng olur.



Şəkil 3.6. Rastr qrafikə nümunə

Texnikada və kompüter qrafikasında çox vaxt düzbucaqlı rastrlardan istifadə olunur ki, burada piksellər düzbucaqlı matrisi yaradır. **Məsələn**, kompüterin ekranında piksellər soldan sağa və yuxardan aşağı bir-bir sayılır. Adətən piksellərin yerləşdirilmə sıxlığı düymədə (dpi, **D**ots[**d**ot's] **P**er[**p**ə:] **I**nch[**I**ntʃ] - Число точек на дюйм – Düymdə nöqtələrin sayı) nöqtələrin sayı ilə ölçülür. Beləliklə, məsələn ölçüsü **768x576** olan fotoşəkillər **JPEG** formasında saxlanırsa onda bu o deməkdir ki, piksellər matrisi **768** sütundan və **576** sətirdən təşkil olunub. Qrafiki istifadəçi interfeysi olan ƏS (WINDOWS, MacOS, UNIX – də X WINDOWS və s) ekranı müəyyən ölçülü (məsələn, 800x600 yaxud 1024x768 piksel) düzbucaqlı rastr kimi göstərilir.

(0,0)

(1023,0)

		....	1022	1023
1		....	
....
767		....	

(0,767)

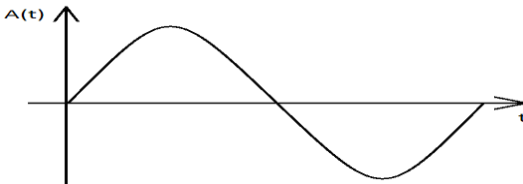
(1023, 767)

3.21. Səsin və danışığın sıxılması

Səs – havada, müxtəlif metallarda, suda və s. mühitdə yaranan elastik dalğavari rəqsdır. O təzyiqlə dalğaları şəklində molekulların və atomların ritmik titrəyiş əmələ gətirməsilə ətraf mühitə yayılır. Səsin mənbəyini üç qrupa bölmək olar:

- planetdə baş verən fiziki proseslər (səs – küy, külək və dalğalar, elektrik boşalmaları, uçqun və s.) ;
- insanın təsərrüfatçılıq fəaliyyəti ;
- canlı təbiətin fəaliyyəti (quşların və heyvanların səsləri, dəniz heyvanlarının səsləri, insan səsləri, musiqi).

Ancaq canlı təbiətin səs mənbələri emosional təsirə malikdir. Bu mənada ən zəngin insanın sözü və musiqisidir. Emosional təsir üçün bir vasitə kimi musiqi, səslərin daha geniş palitrasını tələb edir. Nəticədə, səslərin və danışığın emal üsulları üçün müxtəlif sıxma alqoritmlərindən istifadə olunur. Səsi işarə etmək üçün çox vaxt «*səs dalğaları*» terminindən istifadə olunur. Səs dalğaları harmonik rəqsi hərəkət halında baş verdiyi üçün onu $A\sin(\omega t + \varphi)$ funksiyası şəklində müəyyən etmək olar, burada A – amplitudanı, ω - tezliyi, t – vaxtı və φ - fazanı göstərir. İstənilən dalğanın, o cümlədən səs dalğasının əsas parametrləri rəqsin **tezliyi** və **amplitudasıdır**.



Şəkil 3.7. Səs informasiyasının göstərilməsi

Səsin tezliyi h_s – lə ölçülür. **Bir saniyədə əmələ gələn rəqslərin sayına harmonik rəqsin tezliyi γ deyilir. Tezlik $1 h_s =$**

1 san⁻¹ ölçülür. 10³ hs = 1 Khs, 10⁶ = 1 Mhs, 10⁹ hs = 1 Ghs.
Amplituda isə metrlə ölçülür. İnsan qulağı geniş həcmdə tezliyə malik səsləri qəbul edə bilir, məsələn **16 hs** – dən **22 khs** - ə qədər. Qeyri – texniki sahədə (məsələn, musiqidə) «**tezlik**» terminin yerinə çox vaxt «**ton**» termini işlədilir. Səs dalğasının amplitudu **səsin gücünü** müəyyən edir və eyni zamanda bu, kəmiyyət **səsin ucalığının** xarakteri kimi başa düşülür. **Hər hansı səs dalğasının üç xüsusiyyətləri var: sürət, amplituda və period.** Səsin sürəti səsin yayıldığı mühitdən asılıdır. **20⁰** Selsi dəniz səviyyəsində havada səsin sürəti **343,8 m/s** – dir. **Yüksək səs az enerjinin köməyi ilə istehsal edə bilər.** Səsin güc vahidi kimi **mikrovatt (10⁻⁶ vatt)** istifadə olunur. Səs təzyiqinin vahid ölçüsü – paskaldır (**Pa**). Ən zəif, güclə eşidilə bilən səsin amplitudu **20 mkPa** yaxındır. **2·10⁻⁵ Pa** **eşitmə həddi** adlanır. **Praktikada çox vaxt səsin səviyyəsini ölçmək üçün digər ölçü vahidindən – desibeldən istifadə olunur.** Səsin səviyyəsi aşağıdakı formula ilə hesablanır:

$$L = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}$$

burada **L** – səsin səviyyəsi (**dB**), **P₁** – eşitmə həddi (**2·10⁻⁵ Pa**), **P₂** – səsin ölçülən təzyiqidir (**Pa**). Aşağıdakı cədvəldə səsin səviyyəsinin bir neçə qiyməti verilmişdir.

Cədvəl 2.

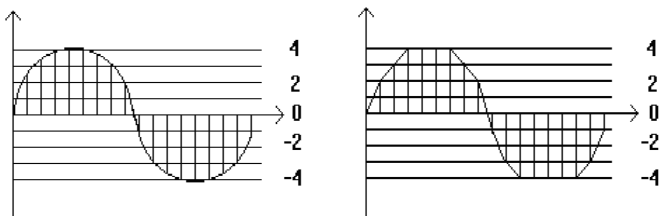
Eşitmə həddi	0 dB
Zəif küləyin səsi	10 – 20 dB
Arxa partada pıçıltı	20 – 30 dB
Orta ucalıqda danışiq	50 – 60 dB
Avtomagistralda	80 – 90 dB
Reaktiv mühərrik	120 – 130 dB
Ölüm həddi (ən güclü səs)	≈ 140 dB

3.22. Səs yazılışı anlayışı

Səsyazma – səs dalğalarının parametrləri haqqında informasiyanı saxlamaq prosesidir. Səsin saxlanması yaxud yazılması qaydası iki yerə bölünür – analoji və rəqəmsal. Analoji yazdıqda səs dalğalarının dəyişməsi kəsilməz olaraq informasiya daşıyıcılarında yerləşdirilir. Buna misal olaraq maqnit lentinə, qramplastinkalara və s. yazılan səsləri göstərmək olar. Kompüterdə səsyazmanın rəqəmsal forması tətbiq olunur. Bu zaman səsyazması zamanca diskretləşməyə və kvantlaşmaya məruz qalır. Nəticədə, səs siqnallarının parametrləri kəsilməz deyil, müəyyən vaxt intervalından bir ölçülür. Ölçülmənin nəticəsi rəqəmsal formada məhdud dəqiqliklə (kvantlaşma ilə) yazılacaqdır. Ümumiyyətlə desək, kompüterdə səsin özü deyil, hər hansı bir qurğunun yaratdığı elektrik siqnalları baş verəcəkdir. Məsələn, mikrofon səs təzyiqini elektrik siqnallarına çevirərək, sonrakı etap üçün hazırlayır. Elektrik siqnalları səs platasına ötürülür, sonra isə 2-lik kodda kompüterin yaddaşına yazılır. Kompüterə elektrik siqnallarını hazırlayan istənilən qurğuları, o cümlədən, həm mikrofon, həm də radionu qoşmaq olar.

3.23. İmpulse kod modulyasiyası

İmpulse – kod modulyasiyası (Pulse[pals]-titrəmə Code Modulation, PCM) onunla əlaqədardır ki, səs informasiyası müəyyən vaxt anında **amplitudanın** götürülmüş qiyməti kimi saxlanılır. Səs kompüterə yazıldıqda amplituda bərabər vaxt intervalında ölçülür. Bu intervalda **tezlik** kifayət qədər böyük götürülür. Çıxış siqnallarını kəsilməz formada bərpa etmək üçün kompüterdə saxlanılan qiymətlərdən istifadə olunur.



Şəkil 3.8. Səs informasiyasının yazılması və səsləndirilməsi

Kompüterdə səsini rəqəmə çevrilməsi üçün analogi – rəqəm çevrici qurğu vardır (ADC, analog-to-digital converter) və əksinə rəqəmi – analogiyə çevrən qurğu (PCM, pulse-code modulation) istifadə olunur.

Signalların ötürülməsinə tətbiq olunan tezlik, diskretləşmə tezliyi adlanır.

Kəsilməz kəmiyyətin ölçülən qiymətləri arasındakı period $T=1/\gamma$ müəyyən olunur. Səsin Kvantlaşması isə belədir: əvvəlcə səs təzyiqinin ani qiyməti müəyyən dəqiqliklə ölçülür, sonra rəngin kvantlaşması halında olan kimi, burada da amplitudanın qiymətlər diapazonu altsəviyyələrə bölünür. Ölçülən qiymətin daxil olduğu altsəviyyə müəyyən olunur və onun nömrəsi kompüterdə saxlanır. Altsəviyyənin nömrəsini yazmaq üçün istifadə olunan **bitlərin sayı, səs kodunun uzunluğu** hesab edilir. Müasir səs kartları 16, 32 və 64 bitlik kod uzunluqlarını təmin edir. Səsin müxtəlif səviyyələrinin sayı $N = 2^l$ formulu ilə hesablanır. Məsələn, $N = 2^{16} = 65\,536$ müxtəlif səs səviyyəsi vardır. Əgər qrafiki və səs informasiyasının göstərilməsi üsulunu müqayisə etsək, onda səsini **impulsiv** kodlaşdırılması, şəkilin **piksel** formasında göstərilməsinə uyğundur:

- 1) Səsin strukturu (qrafikdə - şəkil) təhlil edilmir;
- 2) Vaxt (qrafikdə - məkan) kiçik sahələrə bölünür; bu sahə daxilində səsini(şəkilin) parametrləri dəyişmir.

Rastr göstərilən şəkilləri saxlayan zaman ayrı-ayrı piksellərin koordinatlarını saxlamaq tələb olunmurdu. Buna analoji olaraq səs **impulsiv** göstərilməsi zamanı rəqəmsal parametrləri (kodun uzunluğunu, diskretləşmə tezliyini və səs fraqmentinin uzunluğunu) bir dəfə saxlamaq kifayətdir, sonra ancaq alt səviyyələrin nömrələrinin vahid axını saxlanılır. **Diskretləşmə tezliyini və kodun uzunluğunu** artırmaqla səs siqnallarını daha dəqiq saxlamaq və bunun nəticəsində bərpa etmək olar.

Misal: PCM formasında stereoaudiofaylın aşağıdakı parametrlər daxilində həcmi qiymətləndirək:

- 1) kodun uzunluğu – 16 bit;
- 2) diskretləşmə tezliyi – 44,1 Khs;
- 3) audio fraqmentin uzunluğu – 1 saniyə.

Həlli: (stereoaudio – 2 kanal, mono – 1 kanal)

$16 \text{ bit} \times 44100 \text{ hs} \times 2 \text{ (kanal)} = 1\,411\,200 \text{ bit} = 176400 \text{ bayt} \approx 172,3 \text{ Kbayt}$. Audio fraqmentin həcmi $\approx 172,3 \text{ Kbayt}$

Belə bir təbii sual meydana çıxır: hansı dərəcəyə qədər rəqəmsal parametrləri (deməli, həm də rəqəmsal audio fraqmentlərin həcmi) azaltmaq olar ki, səsi bərpa etdikdə kifayət qədər ilkin vəziyyətə yaxın olsun?

Bu sualın cavabını amerika alimləri Qarri Naykvist və Kold Şennon, rus alimi Vladimir Kotelnikov tapmışlar. Onlar təsdiq etmişlər ki, ölçülən siqnalların tezliyini iki və ya daha çox artırmaqla səs ilkin vəziyyətini bərpa etmək olar.

Naykvist - Kotelnikov – Şennon teoremi (bu teoremin ümumi adı – hesablama haqqında teorem adlanır) təsdiq edir ki, əgər $U(t)$ siqnalı varsa, spektr yuxardan f tezliyi ilə məhduddursa, onda onu $F > 2f$ formalı tezliklə diskretləşdirdikdən sonra kəsilməz siqnallar diskret qiymətlərə görə aşağıdakı düsturla dəqiq bərpa edilə bilər:

$$U(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} U(k\Delta t) \frac{\sin(2\pi F(t - k\Delta t))}{2\pi F(t - k\Delta t)}$$

burada, $\Delta t = 1/F$ hesablama arasında vaxt, $k\Delta t$ - k hesablama vaxtı, $U(k\Delta t)$ - k hesablama qiyməti.

ƏDƏBİYYAT

1. Musayev İ.K. İnformasiya və kodlaşdırma nəzəriyyəsi. Bakı, 1977.
2. Семенов В. В. Экономное кодирование дискретной информации. С - П., 2001.
3. Лидовский В.В. Теория информации. Учебное пособие. М.: 2004.
4. Макаров А.А., Прибылов В.П. Помехоустойчивое кодирование в системах телекоммуникаций: учебное пособие/ СибГУТИ, Новосибирск, 2004. – 141 с.
5. Е. В. Андреева, Л. Л. Босова, И. Н. Фалина. Математические основы информатики. М., 2007
6. Теория информации: Б. Д. Кудряшов — Санкт-Петербург, Питер, 2009 г.- 320 с
12. Системы и сети передачи информации: Л. В. Воробьев, А. В. Давыдов, Л. П. Щербина — Москва, Academia, 2009 г.- 336 с.
12. K.V.Mənsimov, F.G.Feyziyev, N.X.Aslanova. Kodlaşdırma nəzəriyyəsi. Bakı, Bakı Universiteti nəşriyyatı, 2009, 226 s.
7. Кодирование и передача речи в цифровых системах подвижной радиосвязи: С. Г. Рихтер — Москва, Горячая Линия - Телеком, 2011 г.- 304 с
13. В. С. Сергеенко, В. В. Баринов. СЖАТИЕ данных, речи, звука и изображений в телекоммуникационных системах. Москва 2011.

ƏLAVƏ

Утверждено Распоряжением Кабинета Министров
Азербайджанской Республики №141s от 28 июля 2001 года.
СТАНДАРТНАЯ ТАБЛИЦА АЗЕРБАЙДЖАНСКОГО
АЛФАВИТА В СООТВЕТСТВИИ СО СТАНДАРТОМ
КОДОВОЙ СТРАНИЦЫ ANSI 1254 (ISO 8859-9)

Большая буква	Hex код	Юни-код	Большая буква	Hex код	Юни-код	Маленькая буква	Hex код	Юни-код	Маленькая буква	Hex код	Юни-код
A	41	U+0041	Q	51	U+0051	a	61	U+0061	q	71	U+0071
B	42	U+0042	L	4C	U+004C	b	62	U+0062	l	6C	U+006C
C	43	U+0043	M	4D	U+004D	c	63	U+0063	m	6D	U+006D
Ç	C7	U+00C7	N	4E	U+004E	ç	E7	U+00E7	n	6E	U+006E
D	44	U+0044	O	4F	U+004F	d	64	U+0064	o	6F	U+006F
E	45	U+0045	Ö	D6	U+00D6	e	65	U+0065	ö	F6	U+00F6
Ə	C6	U+018F	P	50	U+0050	ə	E6	U+0259	p	70	U+0070
F	46	U+0046	R	52	U+0052	f	66	U+0066	r	72	U+0072
G	47	U+0047	S	53	U+0053	g	67	U+0067	s	73	U+0073
Ğ	D0	U+011E	Ş	DE	U+015E	ğ	F0	U+011F	ş	FE	U+015F
H	48	U+0048	T	54	U+0054	h	68	U+0068	t	74	U+0074
X	58	U+0058	U	55	U+0055	x	78	U+0078	u	75	U+0075
I	49	U+0049	Ü	DC	U+00DC	ı	FD	U+0131	ü	FC	U+00FC
İ	DD	U+0130	V	56	U+0056	i	69	U+0069	v	76	U+0076
J	4A	U+004A	Y	59	U+0059	j	6A	U+006A	y	79	U+0079
K	4B	U+004B	Z	5A	U+005A	k	6B	U+006B	z	7A	U+007A

ASCII kodlarından fraqment

Simvol	Onluq kod	İkilik kod	Simvol	Onluq kod	İkilik kod
Probel	32	00100000	0	48	00110000
!	33	00100001	1	49	00110001
#	35	00100011	2	50	00110010
\$	36	00100100	3	51	00110011
*	42	00101010	4	52	00110100
+	43	00101011	5	53	00110101
,	44	00101100	6	54	00110110
-	45	00101101	7	55	00110111
.	46	00101110	8	56	00111000
/	47	00101111	9	57	00111001
A	65	01000001	N	78	01001110
B	66	01000010	O	79	01001111
C	67	01000011	P	80	01010000
D	68	01000100	Q	81	01010001
E	69	01000101	R	82	01010010
F	70	01000110	S	83	01010011
G	71	01000111	T	84	01010100
H	72	01001000	U	85	01010101
I	73	01001001	V	86	01010110
J	74	01001010	W	87	01010111
K	75	01001011	X	88	01011000
L	76	01001100	Y	89	01011001
M	77	01001101	Z	90	01011010

Morze əlifbası

А	•-	И	••	Р	•-•	Ш	----
Б	--••	Й	•----	С	•••	Щ	--•-
В	•--	К	--•	Т	-	Ъ	•-•-••
Г	---•	Л	•-••	У	••-	Ь	-••-
Д	-••	М	--	Ф	••••	Ы	-•-•-
Е	•	Н	-•	Х	••••	Э	••-••
Ж	•••-	О	----	Ц	-•-••	Ю	••-•-
З	---••	П	•-•••	Ч	----•	Я	••-•-
1	•-----	9	-----•				
2	••-----	0	-----				
3	••••-	Точ- ка	••••••				
4	••••-	Запя- тая	•-•-•-				
5	•••••	/	-•••••				
6	••••	?	••-•-••				
7	--••••	!	--••-•-				
8	-----•	@	•-•-•-•				

Nəşriyyatın müdiri	<i>Kamil Hüseynov</i>
Baş redaktor	<i>İsmət Səfərov</i>
Redaktor	<i>İsabə Hüseynova</i>
Korrektor	<i>Südabə Manafova</i>
Kompüter operatoru	<i>Təranə Baxşəliyeva</i>
Dizayner	<i>Vüqar İbrahimov</i>

B. M. Qasımov, İ. K. Musayev, H. M. Bayramov

İnformasiyanın işlənməsinin kodlaşdırılması

Dərs vəsaiti

*Çapa imzalanıb 20. 04. 2018. Kağız formatı 60x84 1/16.
Həcmi 9.5 ç.v. Sifariş 23. Sayı 50.*

*« İqtisad Universiteti » Nəşriyyatı.
AZ 1001, Bakı, İstiqlaliyyət küçəsi, 6*
