

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ МИНИСТРЛІГІ



**Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан
аграрлық-техникалық университеті**

**А.Д.Кубегенова
А.Х. Касимова
А.Х. Вахитова**

АҚПАРАТ ТЕОРИЯСЫ

Оқу құралы

**ОРАЛ
2023**

ӘОЖ 004.9
КБЖ 32.811
В22

Оқу құралы Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан
аграрлық-техникалық университетінің Оқу-әдістемелік кеңесімен
басылымға ұсынылған
(хаттама №9, 25.04.2023 ж.)

Сын-пікір берушілер: **Кушеккалиев А.Н.** – ф-м.ғ.к., М. Өтемісов
атындағы Батыс Қазақстан университеті
Бапиев И.М. – PhD докторы, Жәңгір хан
атындағы БҚАТУ

Вахитова А.Х.
В22 Ақпарат теориясы: оқу құралы / **А.Д.Кубегенова**
А.Х. Касимова, Вахитова А.Х. – Орал: Жәңгір хан атындағы БҚАТУ,
2023. – 86 б.

ISBN 978-601-269-303-4

Оқу құралында ақпарат теориясының негізгі ұғымдары, әдістері, ақпарат мөлшерін өлшеу, ақпаратты түрлендіру, байланыс желілері арқылы ақпарат беру, әртүрлі кодтарды құру әдістерін зерттеу мен олардың нәтижелері туралы түсінік беріледі. Ақпарат теориясын зерттеу ақпаратты криптографиялық қорғау, сондай-ақ машиналық оқыту және жасанды интеллект саласындағы пәндерді кейіннен зерттеу үшін қажетті негізді қалыптастырады.

Оқу құралы жоғары оқу орындарының 6В06100 «Ақпараттық жүйелер және технологиялар» білім беру бағдарламасы бойынша оқитын білім алушыларға, оқытушыларға, сонымен қатар ақпарат теориясын меңгеруге қызығушылық танытатын оқырмандарға арналған.

ӘОЖ 004.9
КБЖ 32.811

ISBN 978-601-269-303-4

© А.Д.Кубегенова
А.Х. Касимова, Вахитова А.Х. 2023

МАЗМҮНІ

Ақпарат теориясы пәні.....	4
Тарау 1. Динамикалық ақпарат теориясының негізгі ұғымдары....	5
1. Ақпарат ұғымының анықтамасы.....	5
2. Ақпаратты қабылдау (рецепция) және генерациялау.....	10
3. Өзін-өзі ұйымдастыру, синергетика және кибернетика ұғымдары....	12
Тарау 2. Энтропия анықталмағандық дәрежесінің өлшемі ретінде	
1. Энтропия анықтамасы.....	23
2. Энтропия қасиеттері.....	24
3. Күрделі жүйелер энтропиясы.....	29
4. Шартты энтропия.....	31
5. Тәуелді жүйелерді біріктіру.....	34
Тарау 3. Ақпаратты өлшеу.....	36
1. Ақпарат өлшемі.....	36
2. Ақпарат қасиеті	1739
3. Басқа жүйені қамтитын бір жүйе туралы ақпарат.....	40
Тарау 4. Хабарламаны беру есептеріндегі ақпарат теориясы қосымшалары.....	41
1. Ақпарат түрлері	41
2. Негізгі анықтамалар.....	42
3. Кодтар үнемділігі. Ең жақсы бір қалыпты код.....	43
4. Шеннон-Фано және Хафмен кодтары.....	3744
5. Блоктік кодтар.....	49
6. k -лы кодтарды жалпылау.....	50
7. Сөздікке арналған кодтау әдістері. Лемпелл-Зив әдісі.....	3951
8. Ақпаратты шығынмен қысқарту.....	55
9. Байланыс желісі бойынша хабарламаларды берудің жалпы схемасы. Байланыс желісінің өткізу қабілеті	44
Тарау 5. Кедергілер болған кезде хабарламаларды беру.....	55
1. Кедергілері бар байланыс желісін математикалық сипаттау.....	4557
2. Кедергісі бар арнаның өткізу қабілеті.....	57
Практикалық тапсырмалар.....	4658

Білім алушылардың оқытушының көмегімен өзіндік жұмыстары.....	
Тест тапсырмалары.....	
Тест тапсырмаларының жауаптары.....	
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі.....	
Қосымша. $\eta(p)=-p \log p$ шамасының кестесі.....	

Ақпарат теориясы пәні

Ақпарат теориясы ақпаратты алуға, беруге, өңдеуге және сақтауға байланысты сандық заңдылықтарды зерттейтін ғылым.

Ақпарат теориясы математика ғылымдарымен, атап айтқанда, ол үшін математикалық негіз болып табылатын ықтималдықтар теориясымен тығыз байланысты. Өз кезегінде ақпарат теориясы байланыс теориясының математикалық негізі болып табылады. Көбінесе ақпарат теориясы ықтималдық теориясының бөлімі немесе байланыс теориясының бөлімі ретінде қарастырылады. Осылайша, "ақпарат теориясы" пәні өте тар, өйткені ол таза математика мен байланыс теориясының қолданбалы бөлімдері арасында орналасқан.

Ақпаратты алу, беру, өңдеу және сақтау кез-келген басқару жүйесінің негізі болып табылады. Басқару жүйесінің жұмыс принципі-үлкен массалардың қозғалысы мен әрекеті немесе энергияның көп мөлшерін беру және түрлендіру ақпаратты тасымалдайтын энергияның аз мөлшерімен бағытталады және бақыланады.

Кез келген ақпарат берілуі үшін тиісті түрде "кодталуы" керек, яғни арнайы таңбалар мен сигналдардың тіліне аударылуы керек.

Ақпарат теориясының міндеттерінің бірі - берілген ақпаратты ең аз таңбалар санымен беруге мүмкіндік беретін ең үнемді кодтау әдістерін табу. Бұл міндет байланыс желісінде кедергілер болмаған кезде де, болған кезде де шешіледі.

Ақпарат теориясының тағы бір міндеті: ақпарат көзі байланыс желісі арқылы ақпаратты қабылдағышқа үздіксіз жібереді. Барлық келіп түскен ақпаратты беру үшін байланыс желісінің өткізу қабілеті қандай болуы керек.

Ақпарат теориясының бірқатар міндеттері ақпаратты сақтауға арналған сақтау құрылғыларының көлемін анықтауға қатысты.

Мұндай мәселелерді шешу үшін Сіз ақпарат көлемін, байланыс желісінің өткізу қабілеттілігін және олардың кедергілерге сезімталдығын өлшеуді үйренуіңіз керек.

Сонымен, ақпарат теориясы - бұл ақпарат мөлшерін өлшеуге, ақпаратты түрлендіруге, байланыс желілері арқылы ақпарат беруге, әртүрлі кодтарды құру әдістерін зерттеуге және т. б. арналған математикалық теория.

Ақпарат теориясы-бұл ақпаратты сандық өлшеуге және оның қасиеттерін зерттеуге арналған және ақпаратты беру жүйелеріне теориялық негіз беретін математиканың бөлімі.

Тарау 1. Динамикалық ақпарат теориясының негізгі ұғымдары

1. Ақпарат ұғымының анықтамасы

Қазір "ақпарат" ұғымының бірнеше (тіпті көп) анықтамалары бар және олардың ешқайсысы жалпыға бірдей қабылданбайды. Бұл табиғи нәрсе, өйткені жалпы қабылданған анықтамалар ғылымда классикалық болып, дамуын тоқтатқан кезде пайда болады. Бұл ұғымды анықтау керек пе? Сұрақ бос емес, өйткені көптеген ғалымдар "ақпарат-бұл ақпарат және басқа ештеңе жоқ және бұл жеткілікті" деген пікірде. Шынында да, соңғы уақытқа дейін "ақпарат" сөзі күнделікті өмірде және практикалық тапсырмаларда (шифрлау, байланыс және т.б.) қолданылған. Интуитивті немесе таза қолданбалы деңгейде не туралы екенін түсіну жеткілікті болды.

Жақында ақпараттың ғылымда іргелі рөл атқаратыны белгілі болды. Бұл не екенін түсіну қажеттілігі туындады ма? Ақпаратты материя немесе энергия туралы әдеттегі ұғымдармен байланыстыру әрекеттері сәтсіз аяқталды. "Ақпарат-бұл материя да, энергия да емес, ақпарат" екені белгілі болды.

"ақпарат-бұл біздің ойларымыздың көрінісі". Әдебиетте мұндай анықтама жоқ. Стильде ол Кузьма Прутковтың туындыларына сәйкес келеді (мысалы, Оның "ежелгі грек ғалымдарының сұлулық туралы дауы" миниатюрасы). Дегенмен, тереңдігі мен мағынасы бойынша (егер біреу оны табуға тырысса), ол жоғарыда айтылғандардан кем түспейді.

Философиялық энциклопедиялық сөздікте (1983): "ақпарат (лат. informatio-танысу, түсіндіру, ұсыну, ұғым) 1) хабарлама, істердің жай-күйі туралы хабардар ету, адамдар беретін бір нәрсе туралы мәліметтер; 2) хабарламаларды алу нәтижесінде азайтылатын, алынатын белгісіздік; 3) басқарумен тығыз байланысты хабарлама, синтаксистік, семантикалық және прагматикалық сипаттамалардың бірлігіндегі сигналдар; 4) кез-келген объектілер мен процестердегі (жансыз және тірі табиғат) әртүрліліктің берілуі, көрінісі"

"Философиялық энциклопедияда (1970 ж.) екінші томда біз оқимыз:" Ақпарат (латын тілінен ақпарат — ақпарат) — ақпарат теориясын қараңыз. Ал бесінші томда "ақпарат теориясы" мақаласында анықтамалардың орнына ақпаратты сандық бағалау туралы әртүрлі түсініктер берілген. "Ақпарат" термині нені білдіретінін анықтау жай ғана берілмейді. Энциклопедиядағы айқас сілтемелердегі ұқсас жағдайды поляк сатиригі Станислав Лемм "сепульки" ұғымының анықтамасына қатысты сипаттады.

"Ақпарат" ұғымын философиялық тұрғыдан анықтаудағы қиындықтарға байланысты оны рефлексиямен алмастыра отырып, оны философиялық категориялар санатына жатқызуға болмайды деген сенім пайда болды (П.Копнин).

Анықтамалар жинағында ақпарат алгоритм деген тұжырымдар ерекше орын алады:

"ақпарат... - бұл жасуша құрылымының жоспары, сондықтан бүкіл организм" Бұл анықтаманың модификациясы Э. Янчтың жұмысында бар, ақпаратты биологиялық құрылымдардың эволюциясы процесінде өзін-өзі ұйымдастыруға арналған "нұсқаулық" ретінде түсіндірді.

В. Корогодиннің жұмысында анықтамалар келтірілген:

"ақпарат-бұл белгілі бір алгоритм ""операторды құру үшін қажетті әдістер, ережелер немесе мәліметтер жиынтығы, біз оны ақпарат деп атаймыз". Мұнда "оператор" сөзі оқиғалардың стихиялық бағытын өзгертетін жүйеге үшінші тараптың әсерін білдіреді.

"Ақпарат" ұғымының ұқсас және бір-біріне ұқсамайтын көптеген анықтамалары жалпы қабылданған анықтаманың әлі жоқ екенін білдіреді. Сонымен қатар, бұл құбылыстың мәні туралы нақты түсінік жоқ, дегенмен оған қажеттілік қазірдің өзінде бар.

Қазір ақпараттық тәсілдің қолданылу аясы едәуір кеңейді. "Ақпарат" ұғымы өзін-өзі ұйымдастырудың барлық дерлік процестерін (атап айтқанда биологиялық эволюцияны) зерттеуде қолданылады. Сонымен қатар, ақпараттың пайда болуы және оның құндылығының эволюциясы туралы мәселе өзекті болып отыр.

Анықтаманы таңдау зерттеу аппаратына байланысты, басқаша айтқанда, анықтама конструктивті болуы керек, яғни аппарат шеңберінде қолдануға жарамды. Біз динамикалық жүйелер теориясының аппаратын қолданамыз, өйткені ол өзін-өзі ұйымдастыру ғылымының (яғни синергетика) негізінде жатыр. Бұл шарттар Генри Кастлер ұсынған.

Ақпарат-бұл бірнеше мүмкін және тең нұсқалардың ішінен кездейсоқ және есте қаларлық таңдау.

Мұнда "кездейсоқ" сөзі таңдалады, өйткені ол таңдау процесіне (әдісіне) қатысты, сондықтан анықтаманың қолданылу аясын тарылтады. Жалпы айтқанда, таңдау кездейсоқ болмауы мүмкін (ұсынылған), бұл жағдайда олар ақпаратты қабылдау туралы айтады. Кездейсоқ таңдау ақпараттың генерациясына (яғни өздігінен пайда болуына) сәйкес келеді. Сондықтан біз ақпаратты анықтауда "кездейсоқ" сөзін қалдырамыз, бірақ оны генерация мен қабылдау процестерін талқылау кезінде ескереміз. "Есте қалған" сөзі де ерекшеленеді, өйткені болашақта ол өте маңызды рөл атқарады. Бұл ақпаратты бекітуге қатысты. Жалпы айтқанда, таңдау есте қалмауы мүмкін (яғни, сіз бірден ұмытып кетесіз). Мұндай таңдауды микроақпарат деп атаймыз. Есте қаларлық таңдау (есте қалмайтыннан айырмашылығы) біз макроақпарат деп атаймыз.

Барлық ақпараттық процестерде макроақпарат қолданылады (есте қаларлық).

Сондықтан, әрі қарай ақпаратпен біз тек есте сақталатын ақпаратты түсінеміз және "макро" префиксін қалдырамыз.

Осыны ескере отырып біз ақпаратты келесі түрде анықтаймыз:

Ақпарат-біреуінің есте қалған таңдауы бірнеше мүмкін және тең нұсқалардың нұсқалары. (Q)

Әрі қарай, біз бұл анықтаманы қолданамыз және оған (Q) анықтамасы ретінде сілтеме жасаймыз. Біз бұл анықтаманың түпнұсқалығын талап етпейміз, сонымен қатар оның рухы мен мағынасы бойынша ол Г. Кастлерге тиесілі деп санаймыз (бұл жерден: Q — Quastler)

(Q) анықтамасы төмендегілерден ерекшеленеді.

Біріншіден, ол жаратылыстану ғылымдарында анық, түсінікті және кеңінен қолданылады. Оның конструктивтілігі көптеген мысалдармен тексерілген. Бұл анықтама нақты міндеттерге қатысты алдыңғы анықтамаларға қайшы келмейді. Сонымен, нақты жағдайларда ақпаратты нұсқаулық немесе оператор ретінде анықтау белгілі бір жағдайда қандай таңдау жасау керектігін көрсетуге дейін азаяды.

Екіншіден, осы анықтамаға сәйкес, ақпарат нақты және "қарапайым" нәрсе ретінде пайда болады,

Дегенмен, дәл осы анықтама өмірдің пайда болуы және ойлау механизмдері сияқты нәзік құбылыстарды табиғи-ғылыми тұрғыдан түсінуге мүмкіндік беретінін көрсетеміз деп үміттенеміз. Басқаша айтқанда-жаратылыстану ғылымдары мен гуманитарлық ғылымдар арасында көпір салу.

Үшіншіден, анықтама (Q) шараны енгізуге мүмкіндік береді — ақпарат мөлшері.

Ақпаратты беру жүйесі- дегеніміз ақпаратты уақыт және кеңістік бойынша тасымалдауға арналған техникалық жабдықтардың жиынтығы.

Егер параметрлерінің көптеген мәндері жұп болып келсе, онда кездейсоқ функция берілген параметр бойынша дискретті деп аталады. Басқаша жағдайда, егер параметр үзіліссіз облыстан кез-келген мән қабылдай алса онда функция берілген параметр бойынша үзіліссіз деп аталады.

Үзіліссіз сигналдан дискреттігі өту квантталу (дискреттеу) деп аталады, ал керісінше ауысу интерполяция деп аталады.

Уақыт бойынша дискретті кездейсоқ функция кездейсоқ тізбек деп аталады.

Ақпарат көзі дегеніміз - тасымалдауға жататын хабарламаны тудыратын құрылғы немесе адам, ал қолданушы дегеніміз ақпаратты қабылдайтын құрылғы немесе адам.

Канал- дегеніміз сигналды беруге қолданылатын физикалық нысандардың жиынтығы.

Кодер –дегеніміз берілген канал бойынша тасымалдауға жарамды шығыстағы сигналды хабарламаға түрлендіретін құрылғы.

Декодер- дегеніміз шығыстағы сигналды қолданушының қолдануына жарамды түрге түрлендіретін құрылғыны айтады.

Егер құрылғының шығысындағы хабарлама стационар кездейсоқ функция болса, онда ақпарат көзі стационарлы деп аталады.

Ақпарат екі түрге бөлінеді:

Дискретті (сандық)

Үзіліссіз (аналогты)

Дискретті ақпарат бірқатар шаманың тізбекті нақты мәндерін сипаттайды. Ал үзіліссіз ақпарат бірқатар шамалардың өзгеру процнсін сипаттайды, оған атмосфералық қысым датчигі, машинаның жылдамдық датчигі мысал болады.

Дискретті ақпарат кез келген сандық индикатордан алуға болады. Дискретті ақпарат адамның өңдеуіне қолайлы, бірақ үзіліссіз ақпарат практикада жиі қолданылады сондықтан дискретті ақпаратты үзіліссізге немесе керісінше ауыстыра білу қажет. Мұндай процесте модем жиі қолданылады.

Модем сөзі модуляция мен демодуляция сөзінен алынған. Модем компьютердегі сандық ақпаратты дыбысқ немесе электро магнитті тербелістерге ауыстыратын арнайы құрылға. Үзіліссіз ақпаратты, дискретті ақпаратқа аудару кезінде дискреттеу жиілігі қолданылады. дискреттеу жиілігі неғұрлым жоғары болса, үзіліссіз ақпаратты дискреттіге ауыстыру соғұрлым дәл жүреді, бірақ осы жиіліктің шамасы жоғарлаған сайын ақпаратты сақтау, тасымалдау, өңдеу соғұрлым күрделене түседі, сондықтан осы жиіліктің шамасын Найквист теориясына байланысты қабылдаған мәнге дейін көтеру қажет.

Дискретті ақпаратты сақтау қолайлы, өйткені ол сандық тізбек түрінде беріледі. Ал үзіліссіз ақпарат сақтау өте күрделі, практика жүзінде ол үшін конденсатор негізінде электронды сұлба қолданылады. Үзіліссіз ақпарат байтпен өлшенеді, бит бірлік өте кіші өлшем бірлігі болғандықтан көбінесе 8 есе үлкен байт өлшем бірлігін қолданады.

Ақпарат өңдеу үшін келесі есептеу машиналары қолданылады:

- сандық есептеуіш машина- дискретті ақпаратты өңдеу үшін;
- аналогты есептеу машинасы- үзіліссіз ақпаратты өлшеу үшін.

Ақпарт теориясының базалық терминдеріне:

Ақпарат- бір ортадан екінші ортаға сигнал түрінде беріліп, тасымалданатын құбылыс(ақпарат анықтамасының ауқымы өте кең).

Байланыс каналы- ақпарат тасымалдау неғұрлым жоғары жылдамдықпен сипатталатын ақпарат беру ортасы.

Байланыс каналындағы шу-қпарат тасымалдау кезінде болатын,

байланыс каналдарындағы бөгеулер.

Кодтау- дискретті ақпарат келесі тәсілдердің бірімен түрленуі:

- а) шифрлау
- б) тығыздау
- в) шудан қорғау

Ақпаратты тасымалдаудың жалпы сұлбасы:



Символдық форма- әріптік, сандық, таңбалық және т.б. белгілерді пайдалану негізі, ол ең қарапайым болып табылады бірақта ол әр-түрлі жағдайлардағы күрделі емес сигналдарды беруде пайдаланылады.

Текстік формадағы ақпаратты беру неғұрлым күрделі. Мұнда алдыдағы формадағы сияқты символдар пайдаланылады: әріптер, сандар, математикалық таңбалар. Бірақта ақпарат осы символмен ғана беріліп қоймай олардың қатарына, оқылуына да байланысты. Бірақта ең күрделі және көн көлемдісі графиктік формадағы ақпаратты беру болып табылады. Бұл түрдегі формаға табиғат түрі, фотосуреттер, сызулар, сұлбалар, суреттер, өмірімізде ең маңызды роль атқаратын және көп мөлшерде сиятын ақпараттар жатады.

Қазіргі уақытта ақпарат есептеуіш машинамен өңделеді. Ақпаратты қабылдау кезінде қандай да бір нысандағы немесе процесті анализдеу жүргізу нәтижесінде нысанды белгілі бір образда қалыптастыру. Ақпараттың қарапайым түрі екі қарама-қарсы жағдайдың бар болуы (ИӘ,ДА) және жоқ болуы (ЖОҚ,НЕТ). Ақпарат дайындау кезінде аналогты сандық түрлендіру ақпаратты шифрациялау және қалыпқа келтіру операцияларды жүргізуді қабылдау нәтижесінде беруге және өңдеуге ыңғайлы формуладағы сигнал қалыптастыру. Ақпарат беру және сақтау кезеңінде ақпарат бір орыннан екінші немесе бір уақыт моментінен екіншісіне жіберіледі.

Табиғи ақпарат сигналды тану сенімділігін қажет ету үшін олардың санын ең кіші мәнге дейін қысқарту керек.

2. Ақпаратты қабылдау (рецепция) және генерациялау

Ақпаратты қабылдау (рецепция) - жоғарыдан, яғни біреудің немесе бір нәрсенің нұсқауы бойынша таңдау. Басқаша айтқанда, біз берілген адам (немесе жүйе) қабылдайтын ақпарат негізінде жасалған таңдау туралы айтып отырмыз (атауы ресерт — қабылдау).

Динамикалық жүйелер теориясының тілінде ақпаратты қабылдау жүйені бұрын қандай күйде болғанына қарамастан белгілі бір күйге ауыстыруды білдіреді. Қазіргі заманғы техникалық құрылғыларда қабылдау әдетте электрлік немесе жарық импульстарының көмегімен жүзеге асырылады. Барлық жағдайларда импульс энергиясы күйлер арасындағы кедергіден үлкен болуы керек.

Динамикалық жүйелер теориясында үшінші тарап күштері есебінен мұндай ауысу күш деп аталады. Сонымен қатар, ауысудың басқа әдісі бар және ол— параметрлік деп аталады. Соңғысының мәні мынада: жүйенің параметрлері белгілі бір уақытқа (ақырғы) өзгереді, сондықтан ол моностабильді болады (яғни күйлердің бірі тұрақсыз болады, содан кейін жоғалады). Жүйе қандай күйде болғанына қарамастан, ол тұрақты күйге түседі. Осыдан кейін параметрлер бұрынғы мәндерін қайтарады, жүйе екі жақты болады, бірақ жаңа күйде қалады.

Параметрлік коммутация, күштік коммутация сияқты, ақпаратты қабылдау болып табылады; тек коммутация механизмдері, яғни қабылдаулар ерекшеленеді. Қазіргі электроникада негізінен қуатты ауыстыру арқылы ақпаратты қабылдау қолданылады. Биологиялық жүйелерде, керісінше, параметрлік коммутация басым қолданылады. Соңғысына спецификалық емес факторлар (температураның өзгеруі, рН және т.б.) қол жеткізе алады. Басқаша айтқанда, спецификалық емес факторлар рецепт бойынша ақпаратты тасымалдаушы қосқыштардың ролін атқаруы мүмкін.

Ақпаратты құру-таңдау кездейсоқ жасалған, сырттан кеңес берілмейді.

Екі жағдайда да, қабылдауда да, генерацияда да қабылдау немесе генерациялау қабілеті рецептор немесе генератор бұрыннан бар ақпаратқа байланысты болады.

Осыған байланысты дамушы жүйелердегі ақпарат деңгейлерінің иерархиясын талқылау орынды.

Алдымен мысал келтірейік. Сөйлеуді үйрене отырып, бала тіл туралы ақпаратты өз ортасынан, негізінен ата-анасынан алады. Тіл мен сауаттылықты меңгерген жас жігіт өзінің болашақ мамандығын таңдауға тап болады. Өз таңдауын жасап, мамандықты игере отырып, адам болашақта қай бағытта күш салу керектігін бірнеше рет таңдай алады. Сонымен қатар, жаңа сайлау тек бұрынғы, ертерек негізінде мүмкін болады, өйткені оны тек тілді ғана емес, мамандықты да білетін адам жасайды. Әрбір

таңдау кездейсоқ немесе сыртқы оқиғалардың әсерінен жасалады, олар көбінесе бір қарағанда маңызды емес.

Біз күнделікті қолданатын және кейде жасайтын құнды ақпарат жоғарғы деңгейге жатады. Оны қабылдау немесе қалыптастыру үшін тілді (кем дегенде біреуін) және білімді (мысалы, математика, информатика және т.б., мамандыққа байланысты) білу керек, яғни тезаурусқа ие болу.

Әр уақытта таңдау қазіргі уақытта қойылған мақсатпен жасалады, ол ақпараттың құндылығын анықтайды. Алайда, барлық аралық, бір сәттік мақсаттар бір негізгі мақсатқа бағынады.

Ақпарат иерархиясы туралы сұраққа оралсақ, тезаурус-бұл келесі деңгейдегі ақпаратты қабылдау (немесе генерациялау) үшін қажетті жүйеде қамтылған ақпарат.

Динамикалық жүйелер теориясының тілінде айтылғандарды түсіндірейік. Бұл жағдайда мағынасы келесі тарауда түсіндірілетін ұғымдар мен терминдерді қолдануға тура келеді. Дегенмен, біз мұны презентацияның бірігуі үшін орынды деп санаймыз.

Дамып келе жатқан жүйеде таңдау қажеттілігі тұрақсыз күйге келгенде пайда болады, яғни, бифуркация нүктесінде болады (сенімділік үшін біз бұл бифуркацияны I деңгей деп санаймыз). Таңдау әр түрлі нұсқалардан жасалады, олардың қуаты мен сипаты бифуркация түрімен анықталады. Ең қарапайым жағдайда таңдау екі нұсқадан жасалады.

Таңдалған кезде жүйе келесі бифуркацияға дейін тұрақты дамиды. Мұнда тағы да таңдау жасалады, бірақ басқа нұсқалардан (II деңгей). Бұл жиынтық бірінші таңдаудың нәтижесіне байланысты. Егер жүйе өзінің дамуында бірінші кезеңге әлі жетпеген болса, екінші кезеңде опцияны таңдау туралы мәселе мүлдем мағынасын жоғалтады. Басқаша айтқанда, бірінші деңгейдегі ақпарат екінші және одан кейінгі барлық деңгейлер үшін тезаурус болып табылады.

Осы жерден тезаурустың құнды ақпаратты қалыптастыру процесінде қандай рөл атқаратыны анық. Онсыз таңдау жасау керек көптеген адамдар жоқ. Кез-келген басқа жиынтықтан таңдау нөлдік мәнге ие болады.

Ақпаратты қабылдау жағдайында жағдай біршама күрделі. Қарапайым жағдайда, сырттан келетін ақпарат таңдау жасалатын көптеген нұсқаларда анықталады. Жоғарыда аталған ата-аналардың тілді қабылдау мысалында дәл осылай. Бұл үшін балада туылғаннан бастап қажетті тезаурус бар.

Жоғары деңгейлерде сырттан келетін ақпарат берілгенге емес, барлық деңгейлерге қатысты болады. Тезаурус одан осы деңгейге қатысты құнды ақпаратты бөліп көрсету үшін қажет. Мұны көрсету үшін мысал келтірейік, (Ю. М. Шрейдерден алынған).

"В. И. Смирновтың "Жоғары математика курсының" екінші томы бар.

Бұл кітапта бай ақпарат бар. Оның құндылығы қандай? Жауап ретінде сіз сұрауыңыз керек-кім үшін? Мектеп жасына дейінгі бала үшін бұл ақпараттың мәні нөлге тең, өйткені ол жеткілікті дайындыққа ие емес, қабылдау деңгейі жеткілікті және бұл ақпаратты қабылдай алмайды. Математика профессоры үшін құндылық та нөлге тең, өйткені ол бәрін жақсы біледі. Бұл ақпарат кітапқа арналған курстың студенттері үшін ең жоғары құндылыққа ие, өйткені бұл өте жақсы оқулық ".

Бұл мысалда Жоғары математика курсы тұжырымдалған массив мектеп жасына дейінгі баланың деңгейіне жатпайды, өйткені ол әлі өскен жоқ. Профессорға келетін болсақ, Шрейдердің мысалында ол бәрін біледі және ол енді өзіне ешқандай мақсат қоймайды. Сондықтан кез-келген ақпарат, соның ішінде Смирновтың оқулығы ол үшін нөлдік мәнге ие.

Мақсат қойылғанымен, келесі деңгейдегі көптеген нұсқалар әлі қалыптаспаған жағдайға ерекше назар аудару керек. Жаңа құбылысты зерттеуге және сипаттауға келгенде дәл осылай болады. Содан кейін сырттан келетін ақпарат таңдау жасауға көмектеспейді (өйткені таңдау әлі көп емес), бірақ қажетті массивті қалыптастыруға көмектеседі. Аталған мысалда бұған төртінші қатысушы-ғалым сәйкес келеді. Алғашқы үшеуінен айырмашылығы (мектеп жасына дейінгі бала, студент, профессор) ол оқулықты біліп қана қоймай, оқулықтарда жауаптары жоқ сұрақтар қоя алады. Әріптестермен әңгімелесу және кітап оқу арқылы ғалым басқа міндеттерге қатысты көптеген бөгде ақпаратты алады. Жеткілікті тезауруспен ғалым бұл ақпаратты рецепт жасай алады, оны қайта өңдей алады және олардың біреуін таңдау мақсатқа жетуге жақындататын екі нұсқадан тұратын қажетті жиынтықты тұжырымдай алады. Ғылымда бұл сұрақ қою деп аталады. Сұрақ қойылған кезде (жиынтық тұжырымдалған), сол бөгде ақпарат опцияны таңдауға, яғни құнды ақпарат жасауға көмектеседі. Бұл мысалдан ақпараттың қабылдануы мен генерациясы бір-бірімен тығыз байланысты екенін көруге болады.

3. Өзін-өзі ұйымдастыру, синергетика және кибернетика ұғымдары

Объектіні өздігінен ұйымдасатын жүйе түрінде бейнелеу – аздау зерттелген объектілер мен үдерістерді зерттеуге мүмкіндік беретін тәсілдеме. Өздігінен ұйымдасатын жүйелер диффузиялық жүйелер белгілеріне: тәртіптің стохастикалық жекелеген параметрлер мен үдерістердің стационар емес белгілеріне ие. Осыған, тәртіпті (жүріс-тұрысты) алдын ала болжап білудің мүмкін еместігі; ортаның өзгеруші жағдайларына бейімделу қабілеттілігі; бұл ретте тұтастық қасиетін сақтай отырып, жүйенің ортамен өзара әрекеттесуі кезінде құрылымды өзгерту

қабілеттілігі, тәртіптің мүмкін нұсқаларын қалыптастыру және олардың ішінен ең жақсысын таңдау қабілеті сияқты белгілерді қосуға болады. Кейбір уақытта бұл сынып адаптивті немесе өздігінен бейімделетін жүйелерге бөле отырып, ішкі сыныптарға және да- мушы жүйелердің әртүрлі қасиеттеріне сәйкес келетін өздігінен қалпына келетін, өздігінен жаңғыртылатын (көбейетін) және өзге сыныптарға бөлінеді.

Мысалдар: биологиялық ұйымдар, адамдардың ұжымдық тәртібі (мінез-құлқы), кәсіпорын, салалар, тұтастай алғанда мемлекет деңгейінде, яғни адам факторы міндетті түрде болатын жүйелерде басқаруды ұйымдастыру.

Объектіні өздігінен бейнелеуді қолдану кезінде мақсаттарды анықтау мен құралдарды таңдау есептері, негізінен, бөлінеді. Бұл ретте мақсаттарды таңдау есебі, өз кезегінде, өздігінен ұйымдасатын жүйелер түрінде сипатталуы мүмкін, яғни АБЖ-нің атқарымдық бөліктерінің құрылымы, мақсаттар мен жоспар құрылымы, АБЖ-нің қамтамасыз ететін бөлігінің құрылымы (АБЖ техникалық құралдарының кешені) немесе басқару жүйелерінің ұйымдық құрылымы сияқты бөлінуі мүмкін.

Жүйелік талдауды қолдану мысалдарының басым көпшілігі өздігінен ұйымдасатын жүйелер түрінде көрсетуге негізделген.

Күрделіліктері бойынша жүйелер жіктеуі. Үлкен жүйелерді анықтау. Күрделіліктері бойынша жүйелерді жіктеуде бірқатар көзқарастар бар. Жекелей алғанда, Г. Н. Поваров жүйеге кіретін элементтер санына қатысты, жүйелердің үш сыныбын бөледі:

- шағын жүйелер (10...103 элементтер),
- күрделі (104...107 элементтер),
- ультра күрделі (107...1030 элементтер),
- супер жүйелер (1030...10200 элементтер)

Өйткені элемент ұғымы жүйелерді зерттеу есептері мен мақсаттарына қатысты туындайды, сондықтан күрделіліктің аталған анықтамасы абсолютті емес, салыстырмалы болып саналады.

Ағылшын кибернетигі С. Бир барлық кибернетикалық жүйелерді, сипаттау тәсіліне: детерминацияланғандығына немесе теориялық-ықтималдығына қатысты жай және күрделіге жіктейді. А. И. Берг күрделі жүйені, кем дегенде екі әртүрлі математикалық тілдерде (мысалы, Бульдің дифференциалды тендеулер және алгебралар теориясының көмегімен) сипаттауға болатын жүйе ретінде анықтайды.

Математикалық түрде мінсіз сипаттауға болмайтын, я бір-бірімен белгісіз түрде байланысқан элементтердің өте көп саны болғандықтан, я жүйеде өтетін құбылыстар табиғаты белгісіз болғандықтан, жүйелерді өте жиі күрделі жүйелер деп атайды.

Жүйелердің күрделілігі: құрылымдық күрделілік және тәртіп

күрделілігі сияқты екі аспектілерде қарастырылады.

Қазіргі уақытта басқарудың құрылымдық күрделі сызықтық емес жүйелерінің дәл анықтамасы мен өлшемдері жоқ. Бірақ көпөлшемділік, көпбайланыстылық, көпконтурлық, сондай-ақ ол бойынша модельді басқарудың құрылымдық-күрделі сызықтық емес жүйелеріне жатқызуға болатын құрылымның көпдеңгейлі, құрамды және көпмақсатты сипаты сияқты белгілері бар. Аталған термин А. А.Вавиловтың ғылыми мектебінің жұмыстарында пайдаланылды.

Күрделі жүйелерді әзірлеу кезінде, олардың элементтері мен ішкіжүйелерін құрайтын қасиеттерге ғана емес, сонымен бірге тұтастай алғанда жүйенің атқарымдық заңдылықтарына жататын проблемалар да туындайды. Бұл ретте өзіндік ерекшелікті есептердің кең шеңбері пайда болады, атап айтқанда олар:

- жүйелердің жалпы құрылымдарын анықтау;
- элементтер мен ішкі жүйелер арасындағы өзара әрекетті ұйымдастыру;
- сыртқы орта әсерінің есебі;
- жүйелердің атқарымдық оңтайлы режимдерін таңдау;
- жүйені оңтайлы басқару және т.б.

Жүйе неғұрлым күрделі болған сайын, осы мәселелерге соғұрлым көбірек көңіл бөлінеді. Жүйелер теориясы күрделі жүйелерді зерттеудің математикалық базасы болып саналады. Жүйелер теориясында, егер ол бір-бірімен өзара байланысты және өзара әрекет ететін элементтердің үлкен санынан тұрса және күрделі функция- ны орындауға қабілетті болса, жүйені үлкен жүйе (күрделі, үлкен масштабтағы жүйе, Large Scale Systems) деп атайды.

Жай жүйелерді үлкен жүйелерден бөліп тұратын дәл шекара- лар жоқ. Бөлу – бұл шартты және артық атқарамдық жүйенің бо- луымен, өзінің құрамында ішкі жүйелер жиынтығына ие болатын жүйелердің пайда болуынан туындады. Жай жүйе екі күйде ғана болуы мүмкін: жұмысқа қабілеттілік (жарамдық) және істен шығу (жарамды емес) күйінде. Элементтің істен шығуы кезінде жай не өз қызметін орындауды толық тоқтатады, не, егер істен шыққан (жарамсыз болып қалған) элементтің резерві болса, оны толық көлемде орындауын жалғастыратын болады. Үлкен жүйе жекелеген элементтердің және тіпті тұтас ішкі жүйелердің істен шығуы кезінде әрқашанда жұмыс қабілетін жоғалтпайды, көбінесе оның тиімділік сипаттамалары ғана азаяды. Үлкен жүйелердің бұл қасиеті олардың артық атқарымдығымен байланысты және өз кезегінде, жүйелердің «істен шығу» ұғымын тұжырымдауды қиындатады.

Материалдық қорларды, ақпараттарды жинау, беру және өңдеу құралдарының, осы құралдарға қызмет көрсетумен айналысатын адам-

операторлардың және шешімдер қабылдау үшін қажетті құқықтар мен жауапкершілікке ие болатын адам-жетекшілердің жиынтығы үлкен жүйе болып түсіндіріледі. Материалдық қорлар – бұл шикізат, материалдар, жартылай фабрикаттар, ақша құралдары, энергияның әр түрлері, станоктар, жабдықтар, өнімдер шығарумен айналысатын адамдар және т.б. Қорлардың бүкіл көрсетілген элементтері, берілген ережелер бойынша ортақ мақсаттарға немесе мақсаттар топтарына жету үшін элементтер арасындағы өзара әрекет үдерісін анықтайтын байланыстардың кейбір жүйелерінің көмегімен біріктірілген.

Үлкен жүйелердің мысалдары:

- ақпараттық жүйе;
- ірі қаладағы жолаушылар көлігі;
- өндірістік үдеріс;
- ірі аэродромда ұшуды басқару жүйесі;
- энергетикалық жүйе және т.б.

Үлкен жүйелердің сипатты ерекшеліктері. Оған мыналар жатады:

- жүйедегі элементтердің үлкен саны (жүйелердің күрделілігі);
- элементтер арасындағы өзара байланыс пен өзара әрекеттер;
- басқару құрылымдарының сатылығы;
- басқарудың неғұрлым жауапты атқарымдарының бөлігі жүктелетін

басқару контурында адамның міндетті болуы.

Жүйелердің күрделілігі. n элементтердің жиынтығы бар деп алайық. Егер олар оқшауланған, бір-бірімен байланысты емес болса, онда осы n элементтер әлі де жүйе болып саналмайды. Осы жиынтықтарды зерделеу үшін, n зерттеулерден аспайтын зерттеулер жүргізсе жеткілікті болады. Жалпы жағдайда жүйеде A элементтің B элементпен, B элементтің C элементпен байланысы эквивалентті емес, сондықтан $n(n-1)$ байланыстарды қарастыру қажет. Егер әрбір байланыстың күйін аталған мезеттегі болуымен немесе жоқ болуымен сипаттайтын болсақ, онда жүйелер күйлерінің (осындай өте қарапайым тәртіп үшін) жалпы саны 2^n -ге тең болады. Тіпті n үлкен емес болған кезде бұл фантастикалық сан болады. Мысалы, мейлі $n=10$ болсын дейік. Байланыстар саны $n(n-1)=90$.

Сондықтан оның күйін тікелей тексеру жолымен үлкен жүйелерді (ҮЖ) зерделеу аса үлкен болып шығады. Демек ЭЕМ-ді пайдалану және үлкен жүйелердің ескерілетін күйлерінің санын қысқартуға мүмкіндік беретін әдістерді әзірлеу қажет. ҮЖ күйлерінің санын қысқарту – жүйелерді формалды сипаттаудағы алғашқы қадам болып саналады.

Кейінірек жүйелік талдау «зерделенетін үдерісті ішкі үдерістерге тізбектік бөліктеу үдерісі» (С. Янч) ретінде анықтай бастайды және зерттеу мен орындаушылар әдістерін іріктеу ол үшін мүмкінге айналатын ішкі проблемаларға және кезеңдерге бөліктеу жолымен күрделі проблемаларды

шешуге мүмкіндік беретін тәсілдерді іздеуге басты назар аударады. Жұмыстардың көпшілігінде көпсатылы бөлшектеуді «ағаш» типіндегі сатыластық құрылымдар түрінде көзге елестетуге ұмтылады, бірақ бірқатар жағдайларда функциялардың уақыттық тізбектіліктерімен анықталатын құрылымдар нұсқаларын алу әдістемелері әзірленді.

Қазіргі уақытта жүйелік талдау жоспарлау мен басқару проблемаларына қолданылатындай ыңғайда дамуда және жоспарлаудағы бағдарламалық - мақсатты қағидаттарға назар аударудың күшеюімен байланысты бұл термин іс жүзінде «мақсат құру» және «бағдарламалық-мақсатты жоспарлау мен басқару» терминдерінен бөлінбейтін тұтастыққа айналды. Осы кезеңдегі жұмыстарда жүйелер тұтас ретінде талданады, тұтасты дамытудағы мақсат құру үдерістерінің рөлі, адамның рөлі қарастырылады. Бұл ретте, жүйелік талдауда құралдар жетпейтін болып шықты: негізінен бөліктерге бөлшектеу құралдары дамығанымен, бөлшектеу кезінде тұтасты қалай жоғалтпау керектігі туралы ұсыныстар болмады. Сондықтан жүйелік талдау жүргізу кезінде нысандандырылмаған әдістердің рөліне назар аударудың күшейгені байқалады. Жүйелік талдау жүргізу кезіндегі формалды және формалды емес әдістердің ұштасуы мен өзара әрекет ету мәселелері шешілмеген. Бірақ осы ғылыми бағытты дамыту оларды шешу жолымен келеді деп айтуға болады.

ҮЖ теориясы проблемаларды жүйелік талдау көзқарасы тұрғысынан мынадай үш негізгі ғылыми бағытты енгізеді:

1. басқарумен байланысты жүйелердегі ақпараттық үдерістерді талдау кіретін, басқару туралы ғылым ретінде – кибернетика;
2. жүйелердің мақсатты тағайындалуына басқарудың сәйкестік дәрежесінің сандық негіздемесін беретін ғылым ретінде операцияларды зерттеу;
3. жүйелердің негізгі құралдарының атқарымдық үдерісін талдау мүмкіндігін беретін экономикалық (техникалық-экономикалық, әскери-экономикалық зерттеу) зерттеу.

Демек адамдар ұжымдарының мақсатты бағытталған қызметін, адамдар басқаратын техниканың және табиғат күштері мен техниканың жұмыс істеуін талдаумен байланысты проблемалар шеңбері, үлкен ұйымдық жүйелерге қолдануға ыңғайлы жүйелер теориясының пәні болып саналады.

Ұшақтың ұшуын басқару жүйесінде мына ішкі жүйелерді бөліп көрсетуге болады:

- алыстан анықтау және басқару жүйесі;
- көпарналы алыс байланыстар жүйесі;
- ұшақтың көрмей, жердің бағытына қарамай қону және ұшу көпарналы жүйесі;

- диспетчерлеу жүйесі;
- ұшақтың борт аппаратурасы.

ҮЖ ішкі жүйелерінің өзі, тиісті ішкі жүйелерге оңай бөлшектеуге болатын үлкен жүйелер болуы мүмкін. Мәселен, «Қалалық жолаушылар көлігі» үлкен жүйесін көлік түрлері бойынша ішкі жүйелерге: троллейбустарға, автобустарға, трамвайға, метрополитенге, таксиге бөлшектеуге болады. Осы ішкі жүйелердің әрбірі, өз кезегінде, ҮЖ болып саналады. Мәселен, таксомотор шаруашылығы жүздеген (мындаған) автомобильдер мен жүргізушілерден, әлденеше автопарктерден, техникалық күтім жасау және басқару құралдарынан тұрады.

Ішкі жүйелердің бөлінуі – ҮЖ-ні формалды сипаттау кезіндегі үшінші маңызды қадам болып саналады.

Жүйелік талдау. Қазіргі уақытта жүйелік талдау неғұрлым сындарлы бағыт болып саналады. Бұл термин біржақты қолданылмайды. Бір көздерде ол «жоспарлау мен байланысты басқару функцияларына жүйелік тұжырымдамалардың қосымшасы» ретінде анықталады. Өзге бір дерек көздерінде – «жүйелерді талдау» (Э. Квейд) терминінің немесе «жүйелік зерттеу» (С. Янч) терминінің синонимі ретінде қолданылады. Бірақ оның тек жүйе мақсаттарының құрылымдарын анықтауға, атқарымдық және қамтамасыз етушілік бөлікті қоса, тұтастай жүйені жоспарлауға немесе зерттеуге қолданылатынына байланысыз, жүйелік талдау жұмыстарында, әрқашанда зерттеу жүргізу әдіснамасында зерттеу кезеңдерін бөліп көрсетуге және осы кезеңдерді орындау әдістемесін нақты жағдайларда орындауға талпыныс жасауға ұсынылатындығымен ілгеріде қарастырылғандардан түбегейлі өзгешеленеді. Бұл жұмыстарда әрқашанда жүйелер мақсаттары анықтау, мақсаттарды көрсетуді нысандандыру мәселелеріне ерекше назар аударылады. Кейбір авторлар тіпті бұны анықтауда: жүйелік талдау – бұл мақсатты бағытталған жүйелерді зерттеу әдіснамасы (Д. Киланд, В. Кинг) екенін атап көрсетеді.

Үлкен жүйелердегі элементтер арасындағы өзара байланыс пен өзара әрекет. Жүйелердің элементтерге және ішкі жүйелерге бөлінуі әртүрлі тәсілдермен жүргізілуі мүмкін. Аталған зерттеулер кезінде бір бөлінбейтін тұтас ретінде қарастырылатын, әртүрлі техникалық құралдар мен адамдардың жиынтығын жүйелер элементі деп атайтын боламыз.

Жүйелерді элементтерге бөлшектеу – жүйелерді формалды сипаттау кезіндегі екінші қадам. Бұл ретте ішкі құрылым зерттеу пәні болып саналады. Тұтастай алғанда, жүйелердің сипатына әсер ететін және оның жүйелердің өзге элементтерімен өзара әрекетін анықтайтын қасиеті ғана маңызға ие болады.

Жүйелер элементтерінің формалды кез келген жиынтығы олардың арасындағы байланыстармен бірге оның ішкі жүйесі ретінде қарастырылуы

мүмкін.

«Жүйелік талдау» термині алғаш рет RAND Corporation (1948) зерттеулерінде әскери басқару есептерімен байланысты пайда болды, ал отандық әдебиетте 1969 жылы С. Опткердің «Іскерлік және өнеркәсіптік проблемаларды шешу үшін жүйелік талдау» кітабы шыққаннан кейін кең таралды.

Бастапқы кезде жүйелік талдау бойынша жұмыстар басым көпшілік жағдайларда операцияларды оңтайландыру мен зерттеу теорияларының идеяларына негізделді. Бұл ретте қандай да бір формаларда, мақсатты жұмыс істеу немесе тиімділік көрсеткіштері өлшеміне ұқсас құралдармен байланыстыратын, яғни объектіні жақсы ұйымдасқан жүйелер түрінде бейнелейтін өрнектер алуға ұмтылуға ерекше назар аударылды.

Мысалы, ертеректегі автоматтандырылған басқару жүйесін (АБЖ) әзірлеу жөніндегі басшылыққа алған материалдарда мақсаттарды есептер жиыны ретінде көзге елестету және есептерді оған жету әдістерімен және құралдарымен байланыстыратын материалдар құру ұсынылған болатын. Шынында да, осы тәсілдемені тәжірибеде қолдану кезінде оның жеткіліксіздігі тез арада анықталды және зерттеушілер ең алдымен, олардың арасындағы мақсаттарды, компоненттерді және байланыстарды ғана емес, ақпараттар жинақтауға, жаңа компоненттер енгізуге, жаңа байланыстарды анықтауға, яғни объектіні (оны қалай жасау керектігін әрқашан ұсынбастан) дамушы жүйелер түрінде белгілеуге мүмкіндік беретін модельдер құру қажеттілігіне назар аудара бастады.

Осы уақытқа дейін біз "өзін-өзі ұйымдастыру" сөзін интуитивті деңгейде қолдандық. Енді оның нені білдіретінін, қалай болғанын және ғылымда қандай рөл атқарғанын талқылау орынды.

Дыбысы мен мағынасы бойынша өзін – өзі ұйымдастыру – бұл тривиальды емес нәрсе болатын процесс және ол ешқандай себепсіз және сыртқы араласусыз өздігінен жүреді.

Өзін-өзі ұйымдастыру ғылымының объектілері – жоғарыда аталған құбылыстар, соның ішінде автотербелістер, динамикалық хаос және таратылған жүйелердегі процестер.

Жоғарыда айтылғандардан, бұл бағыттағы мазмұнды жұмыс бұрын, сөз пайда болғанға дейін жүргізілгені, яғни бұл жағдайда "сөз" "басында" емес, "кейін" болғандығы шығады.

Жоғарыда біз мысал келтірдік: бір астроном жұлдызды ашты, екіншісі атауды ұсынды, ал ашылу құрметіне екіншісіне жатқызылды.

Мұны біздің мысалда түсіндірейік. "Өзін-өзі ұйымдастыру" сөзі әртүрлі мамандықтағы ғалымдарды біріктірді.. Егер ол толығымен қарастырылса, онда "өзін-өзі ұйымдастыру" сөзі (шартты ақпарат ретінде) жоғары мәнге ие болады. Бұл "сөз" болмаса, пәнаралық бағыт

(атап айтқанда қаржы) қолдау таппайды, конференциялар жиналмайды және жалпы ғылымдарды біріктіру процесі баяулайды.

Бұл оқиға шартты ақпараттың ғылым мен өмірде қаншалықты маңызды рөл атқаратындығының мысалы болып табылады.

"Өзін-өзі ұйымдастырумен" қатар "кибернетика" және "синергетика" сөздері қазір танымал. Сұрақ туындайды: олар бір-бірінен және "өзін-өзі ұйымдастырудан" қалай ерекшеленеді.

Шындығында, бұл бағыттар өте қиылысады. Дегенмен, айырмашылықтар бар.

Ақпараттың қолданбалы теориясы кибернетиканың ажырамас бөлігі. Кибернетика бұл ақпаратты сақтап, тасымалдап, қадағалап өңдеуге арналған ғылым.

Оның негізгі зерттеу нысандары:

- ✓ Кибернетика жүйесі;
- ✓ Кибернетиканың жүйелерге техникадағы автоматты реттегіштер ЭЕМ;
- ✓ Адам мен жануарлардың ми жүйелері және биологиялық өсімдіктер жатады.

Қазіргі жаңашыл кибернетиканың негізгі бөлімдеріне ақпарат теориясы алгоритмдер және автоматтар теориясы оптималды басқару теориясы мысал бола алады.

Кибернетиканың негізін қалаушы ретінде америка ғалымдары Винер және Шэннон есептеулерінше ақпараттық теория: математиканың ықтималдық теориясы мен математикалық статикамен тығыз байланысты деп есептеген. Ақпараттық теория тарихи және практикалық тұрғыдан байланысты теориялар негізі қаланды. Сонымен ақпарат теориясын байланыс каналдар өлшемін ондағы ақпарат ағымын өлшеуге арналған математикалық теория құрайды.

Ақпарат теориясы пәні - кибернетиканың бір бөлігі болып саналады.

Кибернетика – бұл ақпаратты алу, сақтау, тасымалдау, өңдеудің ортақ заңдылықтары туралы ғылым. Оның негізгі зерттеу пәні – өзінің материалдық табиғатына тәуелді емес, абстрактілі түрде қаралатын кибернетикалық жүйе. Кибернетикалық жүйенің мысалдары: техникадағы автоматты реттегіштер, ЭЕМ, адамның немесе жануардың миы, биологиялық популяция, социум. Кибернетиканы жасанды интеллект әдісімен жиі байланыстырады, өйткені ол басқару жүйесі мен ақыл-ой еңбегін ақпараттыру жүйесін құрудың ортақ принципін жасап шығарады. Қазіргі заманғы кибернетиканың негізгі бөлімдері (олар бір-біріне тәуелсіз және еркін): ақпарат теориясы, алгоритм негіздері, автомат негіздері, операцияны зерттеу, оптималды басқару негіздері және бейнелерді тану негіздері.

Винер кибернетиканың негізгі категориясы – басқаруды енгізді, бұл категорияның басқалардан басты айырмашылығын көрсетті, мысалы, энергиядан, кибернетикаға тән бірнеше есептерді жазды, есептеуіш машинаның айрықша рөліне жұрттың назарын аударды және оларды жаңа НТР-дің келуінің индикаторы деп есептеді. Басқару категориясының ерекшелігі Винерге ақпарат түсінігін қолдануға мүмкіндік берді және ол ақпаратты тасымалдау және өзгеру заңдылықтарын оқып білуді кибернетика негізіне енгізді.

Басқару принципінің ерекшелігі болып, үлкен массалардың қозғалысы және іс-әрекеті немесе энергияның көп бөлігін тасымалдау және өңдеу ақпарат тасымалдаушының аз ғана энергиясы арқылы басқарылады және бағытталады. Бұл басқару принципі кез келген басқарылатын жүйені, яғни автоматты машина және тірі организмдерді ұйымдастыру және жүйенің ұйымдастыру іс-әрекетінде жатыр. Сондықтан энергия түсінігін енгізу табиғаттың барлық құбылыстарын ортақ көзқараспен қарастыруға мүмкіндік берді және жалған теориялардың бір қатарын алып тастады. Сонымен бірге ақпарат түсінігін енгізу табиғаттағы әр-түрлі қарым- қатынас түсініктерін зерттеуге ортақ көзқараспен қарауға мүмкіндік береді. СССР-да кибернетиканың дамуына зор үлес қосқан академиктер А.И.Берг және В.М.Глушков.

Кибернетика-басқару ғылымы-техникадағы басқару тәжірибесін жалпылау ретінде пайда болды. Осыдан оң және теріс кері байланыс сияқты ұғымдар алынды. Доктор Эшбидің (білім беру дәрігері) күш-жігерінің арқасында бұл ұғымдар медицинаға енгізілді және олардың негізінде гомеостаз тұжырымдамасы жасалды. Өзін-өзі ұйымдастырудың мәнін құрайтын құбылыстар табиғи түрде осы тұжырымдамаға сәйкес келді және ынтамен қабылданды. Дәл сол кезде доктор Эшби ұранды (немесе парадигманы) алға тартты: кибернетикада математикалық аппарат екінші дәрежелі. Басқаша айтқанда, математиканы білмейтін адам кибернетик бола алады.

Бастапқыда бұл идея кибернетиктердің ауқымын едәуір кеңейтті және оның танымал болуына ықпал етті. Алайда, көп ұзамай доктор Эшбидің ғылымға зиян тигізгені белгілі болды. Кибернетикаға тек математиканы ғана емес, басқа ғылымды да меңгермеген адамдар жиналды. Кибернетика ғылымының критерийі жоғалды, оның рейтингі мен танымалдығы төмендеді.

Оның орнына синергетика келді. Синергетиканың мәні өзін-өзі ұйымдастыру мен кибернетикадағыдай құбылыстар болып табылады. Негізгі айырмашылық – синергетикада математикалық аппаратты (динамикалық жүйелер теориясы, математикалық модельдеу) меңгеру қажетті шарт болып саналады.

"Синергетика" сөзі грек тілінен аударғанда "бірлескен әрекет" дегенді білдіреді. Бұл терминді Штудгарт университетінің профессоры Герман Хакен 1978 жылы ұсынған. Синергетика өзін-өзі ұйымдастыру құбылыстарының математикалық модельдерінен тұрады. Осылайша тарих қайталанды: ғылымның өзі оны білдіретін "сөзден" бұрын пайда болды. Дегенмен, бұл "сөз" ғылымдарды біріктіруде де оң рөл атқарды (құнды шартты ақпарат ретінде).

Бұл жағдайда интеграция жоғары кәсіби деңгейде болды, өйткені математиканы білмейтін адамды синергетик деп санауға болмайды. Қазір "синергетика" және "өзін-өзі ұйымдастыру" сөздері жиі синоним ретінде әрекет етеді.

Осы бөлімнің қорытындысында мәселені талқылау орынды: неліктен математикалық модельдеу (немесе динамикалық жүйелер теориясы) синергетика және өзін-өзі ұйымдастыру сияқты пәнаралық ғылымдардың қажетті элементі болып табылады. Бұл сұрақ маңызды өйткені оның әдіснамалық маңызы бар.

Мұның бірнеше себептері бар:

Біріншіден, әртүрлі салаларда (физика, химия, биология) болатын көптеген құбылыстар бірдей негізгі модельдермен сипатталады. Олардың фазалық портреттері де бірдей, бұл әртүрлі болып көрінетін құбылыстардың жиынтығын көруге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, құбылыстар сыртқы көріністен әр түрлі болған жағдайда да, мысалы, экологиядағы сағаттардың барысы мен популяциялар санының ауытқуы кезінде де жалпыға қол жеткізуге болады. Құбылыстарды ауызша сипаттау кезінде сіз кейбір ұқсастықтарды таба аласыз, бірақ олар енді соншалықты терең көрінбейді.

Екіншіден, математикада теңдеулер жүйесін жеңілдету әдістері жасалды. Олар құбылыстың мәнін мүмкіндігінше қарапайым сипаттауға мүмкіндік береді, оны екінші және маңызды емес мәліметтерден ажыратады. Мұндай модельдер негізгі деп аталады. Негізгі модельдер қанағаттандыруы керек талаптар тұжырымдалған. Олардың негізгілері-дөрекілік (терминді Андронов ұсынған) немесе сол сияқты құрылымдық тұрақтылық (терминді француз математигі Рене том ұсынған).

"Модельдерді өрескел ету" ұғымы (сыртқы тартымсыздыққа қарамастан) маңызды рөл атқарады. Бұл мынаны білдіреді: кез-келген кішігірім өрескел модельдің бұрмалануы нәтижелерді айтарлықтай өзгерте алмайды. Кішкентай бұрмаланулар деп түсініледі:

1) динамикалық айнымалылар санын көбейту немесе жоғары ретті туындыларды қосу, бірақ коэффициенті аз.

2) жоғары дәрежелі, бірақ төмен коэффициенті бар мүшелерді қосу.

Нақты процестерді модельдеу кезінде бәрі ескерілді ме, қандай да бір

шағын фактор жоқ па деген сұрақ туындайды. Дегенмен, жауап қарапайым: егер модель жеткілікті дәрежі болса, онда шағын факторлар оның нәтижелерін бұрмаламайды. Мұндай модель шындықты сипаттайтынына сенуге болады.

Синергетик модельдің дәрежілігін бағалай білуі керек.

Шын мәнінде, бұл ауызша модельдерге де қатысты, олар да дәрежі және дәрежі болмауы мүмкін. Алайда, бұл қасиетті ауызша деңгейде бағалау мүмкін емес. Осыдан біз математикалық әдістерді сипаттауға көп орын бергеніміздің себебі анық. Біздің көзқарасымыз бойынша, бұл өзін-өзі ұйымдастыру және синергетика процестерінің мәнін түсіну үшін қажет және ол қол жетімді.

Сонымен қатар, біздің ойымызша, динамикалық жүйелер теориясының математикалық әдістері өте әдемі.

Сонымен қатар, ғалымдардың (жаратылыстанушылар мен гуманитарлық ғылымдар) әмбебап тілі динамикалық жүйелер теориясының тілін міндетті түрде қамтиды.

Синергетиканың ғылым ретінде тағы бір ерекшелігі бар.

Синергетикада көбінесе құбылыстардың модельдерін қайта құру керек, оларды алғашқы принциптерден "шығару" мүмкін емес, басқаша айтқанда, синергетика — модельдерді зерттеу және шешу ғана емес бұл оларды қалай жасау керектігі туралы ғылым. Апаттар теориясы да осыған арналған, оны синергетика бөлімі деп санауға болады.

Синергетиканың пәні – күрделі өзін-өзі ұйымдастыратын жүйелер. Синергетиканың негізін қалаушылардың бірі Герман Хакен өзін-өзі ұйымдастыратын жүйе ұғымын былайша анықтайды: "егер ол белгілі бір әсерсіз сырттан қандай да бір кеңістіктік, уақытша немесе функционалдық құрылымға ие болса, біз жүйені өзін-өзі ұйымдастыратын жүйе деп атаймыз. Белгілі бір сыртқы әсер арқылы біз жүйеге құрылымды немесе функцияны жүктейтін нәрсені түсінеміз. Өзін-өзі ұйымдастыратын жүйелер жағдайында сырттан спецификалық емес әсер байқалады. Мысалы, төменнен қыздырылған сұйықтық өзін-өзі ұйымдастыру нәтижесінде макроқұрылымға біркелкі еніп, алтыбұрышты жасушалар түзеді". Осылайша, қазіргі заманғы жаратылыстану табиғатқа тән ең күрделі жүйелерді – өзін-өзі ұйымдастыруға, өзін-өзі дамытуға қабілетті жүйелерді теориялық модельдеу жолдарын іздейді.

Өзін – өзі ұйымдастыратын жүйелердің негізгі қасиеттері-ашықтық, сызықтық емес, диссипативтілік.

Тарау 2. Энтропия анықталмағандық дәрежесінің өлшемі ретінде

Ақпарат теориясында энтропия деп аталатын ақпаратты өлшеудің тағы бір тәсілі қабылданды. Энтропиялық тәсіл келесі модельден

туындайды. Хабарламаны алушының кейбір оқиғалардың болуы мүмкін екендігі туралы белгілі бір түсініктері бар. Бұл көріністер, жалпы алғанда, дұрыс емес және ол белгілі бір оқиғаны күтетін ықтималдықтармен көрінеді. Белгісіздіктің жалпы өлшемі-энтропия, осы ықтималдықтардың жиынтығына кейбір математикалық тәуелділікпен сипатталады. Хабарламадағы ақпараттың мөлшері хабарламаны алғаннан кейін бұл шараның қаншалықты төмендейтіндігімен анықталады. Мұның қалай жұмыс істейтінін анықтайық.

Ақпарат теориясындағы кез келген хабарлама қандайда бір физикалық жүйе туралы ақпарат болып табылады

Егер жүйенің күйі алдын-ала белгілі болса, онда хабарлама жіберудің мағынасы жоқ.

Ақпарат берілетін объект ретінде біз кездейсоқ немесе басқа күйде болуы мүмкін яғни, белгілі бір дәрежеде белгісіздікке тән физикалық жүйені қарастырамыз.

Егер ақпарат алынғанға дейін жүйенің белгісіздігі соғұрлым көп болса, жүйе туралы алынған ақпарат неғұрлым құнды болады. Физикалық жүйенің белгісіздік дәрежесі оның мүмкін күйлерінің санымен және күйлердің ықтималдығымен анықталады.

1. Энтропия анықтамасы

Ықтималдықтары $p_1, p_2, \dots, p_n$ ($p_i = 1$) болатын, жүйе күйлерінің $x_1, x_2, \dots, x_n$ шекті жиынын қабылдайтын X жүйесін қарастырайық, мұндағы

$$p_i = P(X \sim x_i)$$

немесе

$$\begin{array}{ccccccc} x_i & x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ \hline p_i & p_1 & p_2 & \dots & p_n \end{array}$$

Жүйенің анықталмағандық өлшемі ретінде *энтропия* деп аталатын арнайы сипаттама қолданылады.

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_a p_i$$

– формуласымен есептелетін шама **энтропия** деп аталады.

p шамасының қабылдайтын мәндер облысы $[0, 1]$ кесіндісі болып

табылады. $p = 0$ үздіксіз мәнінде осы формула бойынша мәні:
 $\lim_{p \rightarrow 0+0} p \log p = 0$. Логарифм негізі ретінде $a > 1$ шамасын алуға болады.

Негізді таңдау энтропия өлшем бірлігін таңдаумен тең шамалы. Егер негіз ретінде 10 санын алсақ, k энтропияның ондық бірліктері жөнінде айтылады. Тәжірибеде негіз ретінде 2 санын қолданған ыңғайлы. Есептеуді орындау кезінде $a = 2$ деп аламыз. Бұл жағдайда энтропияның өлшемі ретінде екі мүмкін күйі бар қарапайым жүйенің энтропиясы қабылданады, ал энтропияның өзі екілік бірлік немесе битпен өлшенеді.

$$\begin{array}{c} x_i \quad x_1 \quad x_2 \\ p_i \quad \frac{1}{2} \quad \frac{1}{2} \end{array}$$

$$\text{мұнда } H(X) = -\frac{1}{2} \log \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \log \frac{1}{2} = 1 \text{ бит.}$$

Бит – ең кіші өлшем бірлік, сондықтан одан 8 есе үлкен шама байт (byte) қолданылады. (1 B=8 bit).

N бірдей ықтимал күйлері бар жүйені қарастырайық:

$$\begin{array}{c} x_i \quad x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_n \\ p_i \quad \frac{1}{n} \quad \frac{1}{n} \quad \dots \quad \frac{1}{n} \\ \hline x_i \mid x_1 \mid x_2 \mid \dots \mid x_n \\ p_i \mid p_1 \mid p_2 \mid \dots \mid p_n \end{array}$$

Осыдан:

$$H(X) = -n \frac{1}{n} \log \frac{1}{n} = \log n$$

Демек, тең мүмкін күйлері бар жүйенің энтропиясы күйлер санының логарифміне тең.

2. Энтропия қасиеттері

1 Егер жүйенің күйі алдын ала нақты белгілі болса, онда оның энтропиясы нольге тең.

Бұл жағдайда энтропия формуласындағы $p_1, p_2, \dots, p_n$ ықтималдықтарының біреуінен басқасы (біреуі 1 ге тең) нольге тең болады.

$p_k \log p_k = 0$ қосылғыштары нольге тең, $\log 1 = 0$ болғандықтан қалған қосылғыштар нольге айналады.

$$\lim_{p \rightarrow 0} p \log p = 0.$$

2 Соңғы күйлер жиынтығы бар жүйенің энтропиясы барлық күйлер бірдей болған кезде максимумға жетеді. $\Delta H(X) = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i$ жүйе энтропиясы

$H(p_1, \dots, p_n) = -p_1 \log p_1 - \dots - p_n \log p_n$ функциясын қарастырайық: осы функцияның $p_1 + \dots + p_n = 1$ шарты орындалғандағы шартты экстремумын табайық.

$H(p_1, \dots, p_n)$ функциясының шартты экстремумын табу үшін функцияның қарапайым экстремумын табу керек:

$L(p_1, \dots, p_n, \lambda) = -p_1 \log p_1 - \dots - p_n \log p_n + \lambda(p_1 + \dots + p_n - 1)$
(Лагранждың анықталмағандық көбейткіштер әдісі).

Экстремумның қажетті шарты: $L'_{p_i} = 0, (i = 1, \dots, n)$ и $L'_\lambda = 0$.

Дифференцируем функцию $L(p_1, \dots, p_n, \lambda)$ функциясын дифференциалдап және туындыны нольге теңестіреміз.

Содан теңдеулер жүйесін аламыз:

$$\begin{cases} \log p_1 = \lambda - \log e \\ \dots \\ \log p_n = \lambda - \log e \\ p_1 + \dots + p_n = 1 \end{cases}$$

Жүйенің бір шешімі бар: $p_1 = \dots = p_n = \frac{1}{n}$

Экстремумның жеткілікті шарты:

$$d^2 L = -\frac{1}{p_1} dp_1^2 - \dots - \frac{1}{p_n} dp_n^2 < 0$$

$H(p_1, \dots, p_n)$ функциясы $(1/n, \dots, 1/n)$ нүктесінде шартты максимумы болады.

Жүйенің максималды энтропиясы: $H_{\max}(X) = \log n$.

Демек, шекті күйлер жиынтығы бар жүйенің энтропиясының максималды мәні күйлер санының логарифміне тең және барлық күйлер бірдей ықтималды болған кезде орындалады.

Арнайы функцияны еңгіземіз:

$$\eta(p) = -p \log p$$

Сонда энтропияны есептеуге арналған формула энтропиясы:

$$H(X) = \sum_{i=1}^n \eta(p_i)$$

Энтропия формуласын математикалық күтім түрінде берілсін делік: $\log P(X)$ кездейсоқ шама болсын. X жүйесі $x_1, \dots, x_n$ мәндерін қабылдағанда $\log P(X)$ кездейсоқ шамасы ықтималдықтары $p(x_1),$

... $p(x_n)$ болатын $\log p(x_1), \dots \log p(x_n)$ мәндерін қабылдайды:

$$\frac{\log p(x_i)}{p(x_i)} \mid \frac{\log p(x_1)}{p(x_1)} \mid \dots \mid \frac{\log p(x_n)}{p(x_n)}$$

Сонда, $M[-\log P(X)] = -p(x_1) \log p(x_1) - \dots - p(x_n) \log p(x_n)$.

Осыдан, $H(X) = M[-\log P(X)]$.

Мысал 1. Ықтималдықтар күйі үлестіру заңымен берілген X жүйесінің энтропиясын табыңыз:

x_i	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
p_i	0,2	0,3	0,1	0,05	0,15	0,2

Шешімі.

$$H(X) = \sum_{i=1}^6 \eta(p_i) = 0,4644 + 0,5211 + 0,3322 + 0,2161 + 0,4105 + 0,4644 = 2,4087 \text{ бит}$$

Мысал 2. Төрт элементтен тұратын техникалық құрылғының мүмкін болатын ең жоғары энтропиясын анықтаңыз (кез келген элемент істен шыққан кезде құрылғы істен шығады).

Шешімі. Техникалық құрылғыны $2^4 = 16$ күйде болуы мүмкін X жүйесі ретінде қарастырыңыз. Жүйенің энтропиясы барлық күйлер бірдей ықтимал және $H(X) = \log 16 = 4$ бит. болғанда максимумға жетеді

Мысал 3. Үш күйлі жүйенің энтропиясын анықтайтын $h(p_1, p_2)$ функциясын жазыңыз. Бұл функцияның ең үлкен мәні неде?

Шешімі. x_1, x_2, x_3 үш күйі бар x жүйесін қарастырайық. Күйлердің ықтималдығы:

x_i	x_1	x_2	x_3
p_i	p_1	p_2	$1 - p_1 - p_2$

Мұндай жүйенің энтропиясы:

$$H(p_1, p_2) = -p_1 \log p_1 - p_2 \log p_2 - (1 - p_1 - p_2) \log(1 - p_1 - p_2).$$

Егер жүйенің күйлері бірдей болса, жүйенің энтропиясы максималды болады:

x_i	x_1	x_2	x_3
p_i	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$

Егер жүйенің күйі тең ықтималды болса, жүйе энтропиясы

максималды болады және күй санының логарифміне тең болады. Осыдан, $H(p_1, p_2)$ функциясы $1/3, 1/3$ нүктесінде максималды және функцияның ең үлкен мәні $H_{\max}(p_1, p_2) = \log 3$.

Мысал 4. Екі жәшік бар. Біріншісінде – 5 қызыл, 7 ақ шар бар. Екіншісінде – 8 қызыл және 6 ақ шар бар. Әрбір жәшіктен екі шардан алынады. Осы екі тәжірибенің қайсысы анықталмағандыққа жақын деп есептеуге болады?

Шешімі. X жүйесін үш нәтиже беретін жүйе ретінде алып, бірінші жәшіктен екі шар алатын тәжірибені қарастырайық:

x_i нәтижесі	x_1 (2 қ.ш.)	x_2 (1 қ.ш.+1ақ ш.)	x_3 (2 ақ ш.)
ықтималдықтары	$\frac{5}{12} \cdot \frac{4}{11} = \frac{20}{132}$	$\frac{5}{12} \cdot \frac{7}{11} + \frac{7}{12} \cdot \frac{5}{11} = \frac{70}{132}$	$\frac{7}{12} \cdot \frac{6}{11} = \frac{42}{132}$

X жүйесінің энтропиясын табамыз:

$$H(X) = \eta\left(\frac{20}{132}\right) + \eta\left(\frac{70}{132}\right) + \eta\left(\frac{42}{132}\right) = 0,4118 + 0,4854 + 0,5256 = 1,4228 \text{ бит.}$$

Y жүйесін үш нәтиже беретін жүйе ретінде алып, екінші жәшіктен екі шар алатын тәжірибені қарастырайық:

y_i нәтижесі	y_1 (2 қ.ш.)	y_2 (1 қ.ш.+1ақ ш.)	y_3 (2 ақ.ш.)
ықтималдықтары	$\frac{8}{14} \cdot \frac{7}{13} = \frac{56}{182}$	$\frac{8}{14} \cdot \frac{6}{13} + \frac{6}{14} \cdot \frac{8}{13} = \frac{96}{182}$	$\frac{6}{14} \cdot \frac{5}{13} = \frac{30}{182}$

Нәтиже y_j	y_1 (2 қ.ш.)	y_2 (1 қ.ш.+1 ақ ш.)	y_3 (2 ақ ш.)
ықтималдықтар	$\frac{8}{14} \cdot \frac{7}{13} = \frac{56}{182}$	$\frac{8}{14} \cdot \frac{6}{13} + \frac{6}{14} \cdot \frac{8}{13} = \frac{96}{182}$	$\frac{6}{14} \cdot \frac{5}{13} = \frac{30}{182}$

Y жүйесінің энтропиясын табайық:

$$H(X) = \eta\left(\frac{56}{182}\right) + \eta\left(\frac{96}{182}\right) + \eta\left(\frac{30}{182}\right) = 0,5230 + 0,4870 + 0,4277 = 1,4377 \text{ бит.}$$

$H(X) < H(Y)$ болғандықтан, екінші тәжірибенің нәтижесі неғұрлым белгісіз.

Мысал 5. Ауа-райын бақылаудан N тармақ үшін 30 - мамырда жаңбыр жауу ықтималдығы 0,15, ал жаңбыр жаумау ықтималдығы - 0,85 болатыны

белгілі. Дәл осы тармақ үшін 30 - қазанда жауын – шашын болу ықтималдығы 0,8, қар – 0,1, жауын-шашын болмау ықтималдығы - 0,1 болады. Осы күндердің қайсысында ауа-райын неғұрлым белгісіз деп санау керек?

Шешімі. 30 - мамырдағы ауа райын анықтау тәжірибесін үш күйден тұратын X жүйесі ретінде қарастырайық:

Жаңбыр	қар	жауын-шашынның болмауы
0,15	0	0,85

$$H(X) = \eta(0,85) + \eta(0,15) = 0,1993 + 0,4105 = 0,6098 \text{ бит}$$

30 - қазандағы ауа райын анықтау тәжірибесін үш күйлі Y_1 жүйесі

Жаңбыр	қар	жауын-шашынның болмауы
0,8	0,1	0,1

$$H(Y_1) = \eta(0,8) + \eta(0,1) + \eta(0,1) = 0,2575 + 0,3322 + 0,3322 = 0,9219 \text{ бит ретінде қарастырайық.}$$

30 қазандағы ауа райын анықтау тәжірибесін екі күйі бар Y_2 жүйесі ретінде қарастыруға болады:

жауын- шашынның болуы	жауын- шашынның болмауы
0,9	0,1

Осыдан

$$H(Y_2) = \eta(0,9) + \eta(0,1) = 0,1368 + 0,3322 = 0,4690 \text{ бит.}$$

Егер ауа райының барлық сипаттамаларының тек қол жетімділігіне қызығушылық танытса жауын-шашын, содан кейін $H(X) > H(Y_2)$, сондықтан 30 мамырдағы ауа-райы белгісіз деп саналуы керек. Егер жауын - шашынның болуынан басқа, жауын-шашынның сипатына қызығушылық танытса, онда $H(X) < H(Y_1)$ және 30 қазандағы ауа-райы белгісіз деп саналуы керек.

3. Күрделі жүйелер энтропиясы

Екі немесе одан да көп қарапайым жүйелерді біріктіру арқылы алынған күрделі жүйені қарастырайық

$x_1, \dots, x_n$ және $y_1, \dots, y_m$ мүмкін күйлері бар X және Y екі жүйесінің бірігуі деп X және Y жүйелерінің барлық мүмкін күйлерінің комбинацияларын қамтитын (x_i, y_j) ($i = 1, \dots, n, j = 1 \dots m$) күйлерімен берілген (X, Y) күрделі жүйесін айтамыз.

$p_{ij} - (x_i, y_j)$ күйі бар (X, Y) жүйесінің ықтималдығы

$$p_{ij} = P((X \sim x_i)(Y \sim y_j)).$$

(x_i, y_j)	x_1	x_2	...	x_n
y_1	p_{11}	p_{21}	...	p_{n1}
y_2	p_{12}	p_{22}	...	p_{n2}
...	...	...	...	...
y_m	p_{1m}	p_{2m}	...	p_{nm}

Күрделі жүйенің энтропиясы оның барлық мүмкін күйлерінің логарифмдерінің көбейтінділерінің кері таңбасымен алынған қосындысына тең:

$$H(X, Y) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \log p_{ij}$$

немесе

$$H(X, Y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \eta(p_{ij})$$

Күрделі жүйенің математикалық күтім түріндегі энтропиясы:

$$H(X, Y) = M[-\log P(X, Y)].$$

X және Y жүйелері тәуелсіз болатын жағдайды қарастырайық, яғни олардың күйлерін бір-бірінен тәуелсіз қабылдаймыз. Біз осындай жүйенің энтропиясын табайық.

Тәуелсіз жүйелер үшін ықтималдықты көбейту теоремасы бойынша:

$$P(X, Y) = P(X) \cdot P(Y).$$

Онда

$$\log P(X, Y) = \log P(X) + \log P(Y).$$

$H(X, Y) = M[-\log P(X, Y)]$, онда $H(X, Y) = M[-\log P(X) - \log P(Y)] = M[-\log P(X)] - M[-\log P(Y)]$. Осыдан

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

Сонымен, тәуелсіз жүйелерді біріктіргенде олардың энтропиялары қосылады.

$X_1, X_2, \dots, X_n$ тәуелсіз жүйелерінің кез келген саны үшін

$$H(X_1, X_2, \dots, X_n) = \sum_{i=1}^n H(X_i)$$

Егер жүйелер тәуелді болса, онда күрделі жүйенің энтропиясы оның құрамдас бөліктерінің энтропияларының қосындысынан аз болады. Мұны келесі мысалдармен көрсетейік.

Мысал 6. Тәуелсіз X және Y жүйелерінің күйлерінің ықтималдығы кестелермен берілген:

y_j	y_1	y_2
p_j	0,5	0,5

(X, Y) біріктірілген жүйесінің энтропиясын табыңыз.

Шешімі: X және Y жүйелері тәуелсіз болғандықтан, онда $H(X, Y) = H(X) + H(Y)$.

$$H(X) = \eta(0,6) + \eta(0,4) = 0,4422 + 0,5288 = 0,971 \text{ бит},$$

$$H(Y) = \eta(0,5) + \eta(0,5) = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ бит},$$

$$H(X, Y) = 0,971 + 1 \approx 1,971 \text{ бит}.$$

Мысал 7. X және Y жүйелері тәуелді. Олардың күйлерінің ықтималдығы 6-мысалдағыдай бөлінеді. Егер бірлескен ықтималдық үлестірімі кесте арқылы сипатталса, біріктірілген жүйенің (X, Y) энтропиясын табыңыз:

(x_i, y_j)	x_1	x_2
y_1	0,4	0,1
y_2	0,2	0,3

Шешімі:

$$H(X, Y) = \eta(0,4) + \eta(0,1) + \eta(0,2) + \eta(0,3) = 0,5288 + 0,3322 + 0,4644 + 0,5211 = 1,8465 \text{ бит}.$$

4. Шартты энтропия

Екі тәуелді X және Y жүйесі берілсін. X жүйесі x_i күйін қабылдасын.

$p(y_j/x_i)$ – X жүйесі x_i күйінде болған жағдайда Y жүйесінің y_j күйін қабылдауының шартты ықтималдығы

$$p(y_j/x_i) = P(Y \sim y_j / X \sim x_i), \text{ да}$$

$$H\left(\frac{Y}{x_i}\right) = - \sum_{j=1}^m p(y_j / x_i) \log p(y_j / x_i) \quad (1)$$

немесе

$$H\left(\frac{Y}{x_i}\right) = - \sum_{j=1}^m \eta(p\left(\frac{y_j}{x_i}\right))$$

$H(Y/x_i)$ – X жүйесі x_i күйінде болған жағдайда Y жүйесінің *дербес шартты энтропиясы*.

Дербес шартты энтропия X жүйесінің x_i күйін қабылдағанына байланысты.

X жүйесі әртүрлі күйлерді қабылдай алатындығын ескере отырып, Y жүйесінің орташа (толық) шартты энтропиясын анықтайық:

$$H\left(\frac{Y}{X}\right) = \sum_{i=1}^n p_i H\left(\frac{Y}{x_i}\right) \quad (2)$$

(1) – өрнекті қолдана отырып,

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

p_i – ді екінші қосынды таңбасының астына алып төмендегі теңдікті аламыз.

$$H\left(\frac{Y}{X}\right) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p\left(\frac{y_j}{x_i}\right) \log p\left(\frac{y_j}{x_i}\right) \quad (3)$$

немесе

$$H\left(\frac{Y}{X}\right) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_i \eta\left(p\left(\frac{y_j}{x_i}\right)\right)$$

Екінші жағынан, ықтималдықтарды көбейту теоремасы бойынша $p_{ij} = p_i \cdot p(y_j/x_i)$. (3) – өрнекті қолдана отырып,

$$H\left(\frac{Y}{X}\right) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \log p\left(\frac{y_j}{x_i}\right) \quad (4)$$

аламыз.

(4) өрнекті математикалық өрнек түрінде жазамыз:

$$H(Y/X) = M[-\log P(Y/X)].$$

$H(Y/X)$ шамасы X жүйесінің күйі толық анықталғаннан кейін қалған Y жүйесінің белгісіздік дәрежесін сипаттайды.

$H(Y/X)$ – X жүйесіне қатысты Y жүйесінің толық шартты энтропиясы.

Сол сияқты, біз Y жүйесіне қатысты X жүйесінің толық шартты энтропиясын анықтаймыз.

$r_j = P(Y \sim y_j)$ болсын, онда

$$H\left(\frac{X}{Y}\right) = \sum_{j=1}^m r_j H\left(\frac{X}{y_j}\right) \quad (5)$$

немесе

$$H\left(\frac{Y}{X}\right) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_j \eta\left(p\left(\frac{x_i}{y_j}\right)\right)$$

Мысал 8. X тәжірибесі 16 қызыл және 7 ақ шарлары бар урнадан екі шарды шығарудан тұрады. Y тәжірибесі - сол урнадан тағы бір шарды алу. Y тәжірибесінің $H(Y)$ энтропиясы және осы тәжірибенің шартты $H(Y/X)$ энтропиясы қандай?

Шешімі. X тәжірибесін үш нәтиже жүйесі ретінде қарастырайық. Нәтижелер ықтималдығы:

Нәтиже x_i	x_1 2 қ. ш.	x_2 1 қ. ш. + 1 ақ. ш.	x_3 2 ақ. ш.
Нәтижелер ықтималдығы p_i	$\frac{16}{23} \cdot \frac{15}{22} = \frac{240}{506}$	$\frac{16}{23} \cdot \frac{7}{22} + \frac{7}{23} \cdot \frac{16}{22} = \frac{224}{506}$	$\frac{7}{23} \cdot \frac{6}{22} = \frac{42}{506}$

X тәжірибесі туралы әзірге ештеңе белгісіз, Y тәжірибесі бастапқы

шарлар жиынтығын (16 қызыл және 7 ақ) қамтитын урнадан бір шарды алу ретінде қарастырылуы керек. Y тәжірибесін екі нәтиже беретін жүйе ретінде қарастырайық.

Нәтижелер ықтималдығы:

Нәтиже y_i	y_1 2 қ. ш.	y_2 1 ақ. ш.
Нәтижелер ықтималдығы r_j	$\frac{16}{23}$	$\frac{7}{23}$

$$H(Y) = \eta\left(\frac{16}{23}\right) + \eta\left(\frac{7}{23}\right) \approx 0,8870$$

X тәжірибесінің нәтижесі белгілі болғаннан кейін, Y тәжірибесінің нәтижесінің ықтималдығы басқа мәндерге ие болады:

$$p(y_1/x_1) = 14/21 \quad p(y_1/x_2) = 15/21 \quad p(y_1/x_3) = 16/21$$

$$p(y_2/x_1) = 7/21 \quad p(y_2/x_2) = 6/21 \quad p(y_2/x_3) = 5/21$$

X тәжірибесінің x_1, x_2, x_3 әрбір нәтижесіне қатысты Y тәжірибесінің шартты энтропиясын табайық:

$$H(Y/x_1) = \eta * 14/21 + \eta * 7/21 = \eta(0,666) + \eta(0,333) = 0,3905 + 0,5283 = 0,9188$$

$$H(Y/x_2) = \eta * 15/21 + \eta * 6/21 = \eta(0,714) + \eta(0,285) = 0,3470 + 0,5161 = 0,8631$$

$$H(Y/x_3) = \eta * 16/21 + \eta * 5/21 = \eta(0,761) + \eta(0,238) = 0,2999 + 0,4949 = 0,7948$$

$$\text{Онда } H(Y/X) = p_1 \cdot H(Y/x_1) + p_2 \cdot H(Y/x_2) + p_3 \cdot H(Y/x_3) = 240/506 * 0,9188 + 224/506 * 0,8631 + 42/506 * 0,7948 = 0,8838 \text{ бит.}$$

5 Тәуелді жүйелерді біріктіру

Біріктірілген жүйенің энтропиясын оның құрамдас бөліктерінің энтропиясы арқылы табамыз.

Теорема. Егер екі X және Y жүйесі бір жүйеге біріктірілсе, онда біріктірілген жүйенің энтропиясы оның құрамдас бөліктерінің бірінің энтропиясына және біріншісіне қатысты екінші бөліктің шартты энтропиясына тең болады:

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

$H(X, Y)$ математикалық күтім түрінде жазамыз:

$$H(X, Y) = M [-\log P(X, Y)].$$

Ықтималдықтарды көбейту теоремасы бойынша

$$P(X, Y) = P(X)P(Y/X).$$

Онда,

$$\log P(X, Y) = \log P(X) + \log P(Y/X).$$

$$M [-\log P(X, Y)] = M [-\log P(X)] + M [-\log P(Y/X)],$$

онда $H(X, Y) = M [-\log P(X, Y)]$, $H(X) = M [-\log P(X)]$ және $H(Y/X)$
 $= M [-\log P(Y/X)]$, және

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

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

Жеке жағдайда, X және Y тәуелсіз болғанда, $H(Y/X) = H(Y)$, және осыдан,

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

Жалпы жағдайда,

$$H(X, Y) \leq H(X) + H(Y).$$

Теңсіздік мынадан туындайды толық шартты энтропия $H(Y/X)$ шартсыздан асып түсе алмайды: $H(Y/X) \leq H(Y)$, яғни, жүйенің белгісіздік дәрежесі басқа жүйенің күйі белгілі болғаннан кейін арта алмайды.

$H(X, Y) \leq H(X) + H(Y)$ теңсіздігінен күрделі жүйенің энтропиясы оның құрамдас бөліктері тәуелсіз болған кезде максимумға жетеді.

(X) жүйелерінің бірінің күйі екіншісінің (Y) күйін толығымен анықтайтын тағы бір төтенше жағдай. Бұл жағдайда

$$H(Y/X) = 0 \text{ және } H(X, Y) = H(X).$$

Егер X және Y жүйелерінің әрқайсысының күйі екіншісінің күйін ерекше анықтаса, яғни жүйелер баламалы болса, онда $n(X, Y) = N(X) = N(Y)$.

Күрделі жүйенің энтропиясы туралы теореманы қорытындылайық:

$H(X_1, X_2, X_3 \dots X_n) = H(X_1) + H(X_2/X_1) + H(X_3/X_1, X_2) + \dots + H(X_n/X_1, X_2, \dots X_{n-1})$, яғни, әрбір келесі жүйенің энтропиясы барлық алдыңғы жағдайлардың күйі белгілі болған жағдайда есептеледі.

Мысал 10. 9 - мысалда X тәжірибесінің $H(X)$ энтропиясын және осы тәжірибенің шартты $H(X/Y)$ энтропиясын табыңыз.

Шешімі. $H(X, Y) = H(X) + H(Y/X)$ және $H(X, Y) = H(Y) + H(X/Y)$, то $H(X) + H(Y/X) = H(Y) + H(X/Y)$.

Осыдан

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

$$H(X) = \eta(0,474) + \eta(0,442) + \eta(0,083) = 0,5105 + 0,5206 + 0,2980 = 1,3291 \text{ бит.}$$

$$H(X/Y) = H(X) - H(Y) + H(Y/X) = 1,3291 - 0,8870 + 0,8838 = 1,3259 \text{ бит.}$$

Тарау 3. Ақпаратты өлшеу

1. Ақпарат өлшемі

Сөйлесу барысында алынған мағлұматтардың жалпы көлемінің жартысынан көбі әңгімелесушінің дауыс ырғағына, оның бет-әлпетінің құбылуына, қолының қимыл-қозғалысына, яғни сөйлесудің жалпы жағдайына байланысты бағаланады. Ең күрделі мәселе ақпаратты саны жағынан бағалау, яғни өлшеу мәселесі. Мысалы, ғылыми жаңалықтардағы, жаңа музыкалық стильдегі, қоғамдық даму теориясындағы ақпараттар көлемін бағалау өте қиын. Ақпаратты техникалық жағынан өлшеуге болады.

Техникада мамандарға хабар жіберу жүйесі арқылы ақпараттың қанша мөлшері өтетінін, алдыңғы ақпарат жадта қанша орын алып тұрғанын, келесі ақпаратқа қанша орын керек болатынын анықтап отыру керек. Сондықтан техникада жіберілетін хабардың мағынасына қарамай, адамның ақпаратты бағалауын ескермей, өздерінің ақпаратты сандық бағалауын енгізеді. Техникада сақталатын, өңделетін немесе жіберілетін таңбалар, символдар тізбегі ақпарат деп саналды. Бұл ретте берілетін ақпараттың көлемі нақты хабардағы символдар санын санау арқылы анықталады. Демек, хабардың ақпаратты көлемі деп - хабардың ұзындығын, яғни хабарды жазу үшін пайдаланылған символдар санын айтады. Есептеуіш техникада кез-келген хабардың жазылуы екілік алфавитте жасалатыны бізге мәлім. Ендеше сақталатын, берілетін ақпарат көлемі ондағы екілік белгілер санына тең. Осылай қарастырғанда хабардың ең кіші өлшемі бір екілік разрядқа немесе битке тең болады. Ақпаратты өлшеу бірлігі 1 битке тең. Одан қолайлырақ өлшем бірлігі - сегіз екілік разрядтың жиынтығы - 1 байт, ол символдарды кодтауда жиі қолданылады. Бір байт 8 битке тең. Ыңғайлы болу үшін биттер және байттармен қатар ақпарат көлемін өлшеудің аса үлкен бірліктері енгізілген: 1 Кбайт (килобайт) = 1024 байт = 1000 байт 1 Мбайт (мегабайт) = 1024 Кбайт = 1 миллион байт 1 Гбайт (гигабайт) = 1024 Мбайт = 1 миллиард байт Мысалы, кітапта 190-ға жуық бет бар, бір бетте шамамен 38 жол, ал бір жолда 68 символ бар делік. Кітапта суреттер жоқ және ол тек мәтінмен толтырылған деп есептесек, онда кітапта $190 \cdot 38 \cdot 68 = 490\,960$ символ болғаны, басқаша айтқанда, оқулықтың ақпараттық көлемі 490 960 байтқа немесе = 500 Кбайтқа тең. Ақпаратты өлшеу бірлігі белгілі болғаннан кейін, ол қандай жылдамдықпен берітеліндігін, яғни уақыт бірлігінде ақпараттың қандай көлемі берілетіндігін анықтауға болады. Ақпаратты жіберу жылдамдығы бит/с, байт/с, килобайт/с және т.б. бірліктермен өлшенеді. Мысалы, телефон сымы арқылы жіберілетін ақпарат жылдамдығы шамамен 4 Кбайт/с, адамның мәтінді оқу жылдамдығы шамамен 38 байт/с, ал сөйлеу жылдамдығы 16 байт/с жуық болады. Хабарламаның ақпараттық көлемі хабарламадағы символдар санына тең. Символдарды сегіз разрядтық екілік сандармен, яғни байттармен ұсыну қабылданған. Көлемі жүз мегабайт болатын жадқа: - 50 000 беттік мәтінді; -150 түрлі түсті слайдтарды; -1,5 сағаттық сөздік аудиозаписаны; -10 минуттық стереомузыкалық үзіндіні; -15 секундтық фильмді орналастыруға болады.

Ақпарат теориясының маңызды сұрағы ақпараттың саны мен сапасын өлшеу мөлшерін орнату болып саналады. Ақпаратты өлшеу мөлшері ақпарат теориясында үш негізгі бағытта жүргізіледі:

1. Құрылымдық теория – массивтердің дискреттік құрылымын қарастырып, ақпараттық элементтердің (кванттар) қарапайым есептеуі бойынша, өлшеу немесе ақпараттар массивтерінің қарапайым кодтауды

болжайтын комбинаторлық әдістер.

2. Статистикалық теория – энтропия түсінігімен хабарламаның анықталмағандығын, олардың болуының ықтималдығын, демек сол немесе басқа хабарламалардың ақпараттылығы.

3. Семантикалық теория – ақпараттың қажеттілігін, пайдалылығын немесе маңыздылығын, мақсаттылығын ескереді.

Әлбетте, дәл, техникалық, объективті пайдалану үшін семантикалық тәсіл қолайсыз, өйткені ол таза субъективті және жалпыға бірдей қабылданбайды

ақпараттың сандық өлшемі, дегенмен бұл тәсіл гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар саласында қолданылуы мүмкін.

Нақты және техникалық ғылымдарға қатысты ақпаратты сандық бағалау шарасын анықтау үшін құрылымдық және статистикалық тәсілдер қолданылады.

Таңдалған ақпаратқа қарамастан, ақпаратты сандық бағалау критерийін таңдау жорық, практикалық тәжірибеден туындайтын жағдайларды қанағаттандыруы керек:

- үлкен ұзындықтағы хабарламаға (алфавиттің бірдей көлемінде) көбірек ақпарат сәйкес келеді;
- ақпараттың көп мөлшері сол хабарламаларда болады (ұзындығы бірдей), олар үлкен алфавиттің таңбаларынан тұрады;
- хабарламадағы таңбалар әртүрлі ықтималдықтармен пайда болуы мүмкін және статистикалық тәуелді болуы мүмкін.

Осыны ескере отырып, ақпараттың сандық өлшемін келесі ойлар негізінде енгізуге болады. Қандай да бір оқиғаның болуы мүмкін деп есептейік M осындай таңбаларды қамтитын алфавиттен қандай да бір таңбаның пайда болуы сияқты бірдей ықтимал нәтижелер. Осы алфавиттің таңбаларынан жасалуы мүмкін барлық мүмкін хабарламалардың N санын анықтау арқылы осындай таңбалардың n хабарламасындағы ақпарат мөлшерін өлшеуге болады. Егер хабарлама бір таңбадан түзілсе, онда $n=m$, егер екеуінен болса, онда $2N = m \cdot m = m^2$, Егер N таңбадан болса, онда $N = m^n$.

Алынған ақпаратты сандық бағалау өлшемін алфавиттің n таңбасынан тұратын нақты берілген хабарламаны алудың белгісіздік өлшемі деп түсінуге болады.

Жоғарыда энтропия физикалық жүйенің күйінің белгісіздігінің өлшемі ретінде анықталды. Мәліметтерді алғаннан кейін белгісіздік азаюы мүмкін. Ақпарат неғұрлым көп алынса, жүйе туралы ақпарат соғұрлым көп болады, жүйенің күйі белгісіз болады. Сондықтан жүйе туралы ақпараттың мөлшері осы жүйенің энтропиясының төмендеуімен өлшенеді.

Жүйенің бақылауларының нәтижесінде жүйенің күйі толығымен

белгілі болсын. $H(X)$ - бақылауларына дейінгі жүйенің энтропиясы. Ақпаратты алғаннан кейін жүйенің күйі толығымен анықталып, жүйенің энтропиясы нөлге айналды. Бұл жағдайда X жүйесінің күйін анықтау нәтижесінде алынған ақпарат энтропияның төмендеуіне тең:

$$I(X) = H(X) - 0,$$

Яғни

$$I(X) = H(X) = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i$$

$I(X)$ шамасы — кездейсоқ шамалардың орташа мәні $-\log p_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$):

$$\frac{-\log p_1 \quad -\log p_2 \quad \dots \quad -\log p_n}{p_1 \quad p_2 \quad \dots \quad p_n}$$

Бұл жағдайда әрбір жеке $\log p_i$ термині X жүйесі x_i күйінде болатын жеке хабарламадан алынған жеке ақпарат ретінде қарастырылады. Мәнді енгізейік:

Бұл жағдайда әрбір жеке термин X жүйесі x_i күйінде болатын жеке хабарламадан алынған дербес ақпарат ретінде қарастырылады. Мәнді енгізейік:

$$I(x_i) = -\log p_i.$$

Содан кейін $I(X)$ олардың ықтималдығын ескере отырып, барлық ықтималды жеке хабарламалардан алынған ақпарат орташа немесе толық ретінде ұсынылады

2. Ақпарат қасиеті

1. Толық және дербес ақпарат теріс болмайды:

$$I(X) \geq 0, \quad I(x_i) \geq 0.$$

2. Егер жүйенің барлық күйлері бірдей ықтималды болса ($p_1 = p_2 = \dots p_n = 1/n$), онда әрбір жеке хабарламаның жеке $I(x_i)$ ақпараты орташа (толық) ақпаратқа тең

$$I(x_i) = -\log p_i = \log n,$$

$$I(X) = -n \cdot 1/n \log 1/n = \log n$$

Егер жүйенің күйлері әртүрлі ықтималдықтарға ие болса, онда әртүрлі хабарламалардан алынған ақпарат бірдей емес. Ең көп ақпарат бастапқыда ықтималдығы аз болған оқиғалар туралы хабарламалар болып табылады.

Күйлерінің ықтималдығы таралу заңымен байланысты X жүйесін қарастырайық:

x_i	x_1	x_2
p_i	0,99	0,01

x_1 күйі бар X жүйесі үшін хабарламадан алынған дербес ақпарат $I(x_i)$

$$I(x_1) = -\log 0,99 \approx 0,0144 \text{ бит}$$

дербес ақпарат $X \sim x_2$:

$$I(x_2) = -\log 0,01 \approx 6,6438 \text{ бит.}$$

Мысал 11. Шаңғышы 0,95 ықтималдығымен таудан құлап кетпейді. Шаңғышының көлбеу жерге құлағанын білгеннен кейін біз қанша ақпарат аламыз?

Шешімі: Шаңғышыны екі күйі бар X жүйесі ретінде қарастырайық:

x_i	x_1	x_2
p_i	0,95	0,05

«Шаңғышы құлады» хабарламасындағы ақпарат өлшемі:

$$I(x_i) = -\log 0,05 = 4,3219 \text{ бит.}$$

Мысал 12. Ойыншы кездейсоқ екі сүйекті лақтырады. Бұл жағдайда ойыншы алатын ақпарат мөлшері қандай?

Шешімі: екі сүйекті 6 күйі бар X жүйесі ретінде қарастырайық:

$$I(X) = \log 36 = 5,1699 \text{ бит.}$$

Мысал 13. 36 картадан тұратын палубадан үшеуі кездейсоқ алынады. Хабарламадан жеке ақпаратты табыңыз: «алты, жеті, түз құлады.»

Шешімі: «алты, жеті, түз құлады.» оқиғасының ықтималдығы

$$p_i = 6 \cdot \frac{4 \cdot 4 \cdot 4}{36 \cdot 35 \cdot 34}$$

Бұл жағдайда дербес ақпарат мынаған тең:

$$I(x_i) = -\log p_i = 6,8017 \text{ бит.}$$

3. Басқа жүйені қамтитын бір жүйе туралы ақпарат

Алдыңғы мысалдарда бақылау X жүйесінің өзіне тікелей жүргізілуі керек деген болжам жасалды, іс жүзінде X жүйесі жиі қол жетімді емес болып шығады. Бұл басқа Y жүйесінің күйін анықтайды, мысалы, ғарыш кемесін тікелей бақылаудың орнына оның аппаратурасымен берілетін сигналдар жүйесі бақыланады.

Бізді қызықтыратын X жүйесі мен бақыланатын Y жүйесінің арасындағы айырмашылықтар екі түрге бөлінеді:

1. X жүйесінің кейбір күйлері Y жүйесінде көрінбейтіндігіне байланысты айырмашылықтар. Мысалы, сандық деректерді дөңгелектеу арқылы.

2. Қателер арқылы айырмашылықтар: X жүйесінің параметрлерін өлшеудің дәлсіздіктері және хабарлама жіберудегі қателер. Мысалы, кедергілердің салдарынан сигналдың бұрмалануы

Егер бізді қызықтыратын X жүйесі және бақыланатын Y жүйе әр түрлі болса, онда жүйе туралы ақпараттың мөлшері X жүйеге бақылау беретін Y жүйесі Y жүйесінің күйі туралы ақпарат алу нәтижесінде X жүйесінің энтропиясының төмендеуі ретінде анықталады:

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

$I(Y, X)$ шамасы- Y жүйесіндегі X жүйесі туралы орташа немесе толық ақпарат.

Мысал 15. X және Y тәуелді жүйелері күйлерінің ықтималдықтары кестемен берілген:

(x_i, y_j)	x_1	x_2
y_1	0, 45	0, 15
y_2	0, 05	0, 35

Осы жүйелердегі толық өзара ақпаратты табыңыз.

Шешімі: Жүйелердің әрқайсысының күй ықтималдығын табыңыз:

x_i	x_1	x_2
p_i	0, 5	0, 5

y_j	y_1	y_2
r_j	0, 6	0, 4

$$H(X) = 1,$$

$$H(Y) = \eta(0, 6) + \eta(0, 4) = 0, 4422 + 0, 5288 = 0, 971$$

$$H(X, Y) = \eta(0, 45) + \eta(0, 15) + \eta(0, 05) + \eta(0, 35) = 0, 5184 + 0, 4105 + 0, 2161 + 0, 5301 = 1, 6751$$

$$I(X, Y) = H(X) + H(Y) - H(X, Y) = 0, 2959 \text{ бит.}$$

Тарау 4. Хабарламаны беру есептеріндегі ақпарат теориясы

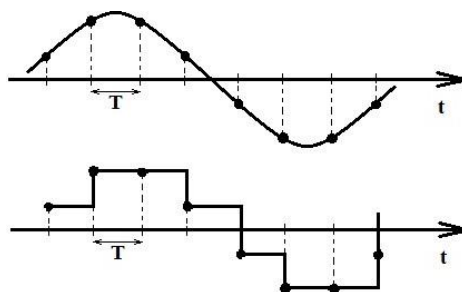
қосымшалары

1. Ақпарат түрлері

Ақпарат екі түрлі болуы мүмкін: дискретті (сандық) немесе үздіксіз (аналогтық). Дискретті ақпарат белгілі бір шаманың дәйекті нақты мәндерімен сипатталады, ал үздіксіз - белгілі бір шаманың өзгеруінің үздіксіз процесі.

Дискретті ақпаратты адам өңдеуге ыңғайлы, бірақ үздіксіз ақпарат практикалық жұмыста жиі кездеседі, сондықтан үздіксіз ақпаратты дискретті ақпаратқа және керісінше аудару білу керек.

Үздіксіз ақпаратты дискретті ақпаратқа аудару кезінде ν *іріктеу жиілігі*, ($T = 1/\nu$) *анықтауыш период* деп аталатын үздіксіз шама мәндерінің арасындағы өлшемдері маңызды (сурет. 2).



Сурет.2. Үздіксіз ақпаратты дискретті ақпаратқа аудару

Іріктеу жиілігі неғұрлым жоғары болса, үздіксіз ақпаратты дискретті ақпаратқа аудару дәлірек болады. Бірақ бұл жиіліктің өсуімен осындай аударма арқылы алынған дискретті деректердің мөлшері, демек, оларды өңдеу, беру және сақтау қиындықтары да артады. Алайда, іріктеудің дәлдігін арттыру үшін оның жиілігін шексіз арттыру қажет емес. Бұл жиілікті тек іріктеу теоремасы анықтаған шегіне дейін көбейту орынды (Котельников теоремасы).

Бұл теоремаға сәйкес, аналогтық сигнал, егер жиіліктер болмаса, іріктеу жиілігінің жартысынан жоғары болса, қалағаныңызша дәл іріктелуі мүмкін.

Дискретті ақпаратты үздіксіз ақпаратқа түрлендіру кезінде осы түрлендірудің жылдамдығы анықталады: ол неғұрлым жоғары болса, соғұрлым жоғары жиілікті аналогтық сигнал алынады. Бірақ алынған сигналда неғұрлым жоғары жиіліктер пайда болса, онымен жұмыс істеу соғұрлым қиын болады.

Үздіксіз ақпаратты дискретті ақпаратқа түрлендіруге арналған құрылғылар АСТ(аналогтық-сандық түрлендіргіш), ал дискретті ақпаратты үздіксіз ақпаратқа түрлендіруге арналған құрылғылар САТ(сандық — аналогтық түрлендіргіш) деп аталады.

2. Негізгі анықтамалар

Байланыс желілері арқылы хабарламаларды беру кезінде сіз әрқашан бір немесе басқа кодты, яғни хабарламаны бірқатар сигналдар түрінде ұсынуыңыз керек.

Кодтау – бір физикалық жүйенің күйін басқасының күйімен көрсету. Кодтаудың ең қарапайым жағдайын қарастырайық – X және Y жүйелерінің екеуінде де (көрсетілетін және көрсетілген) мүмкін күйлердің шектеулі саны болатын жағдай.

Ықтималдығы $p_1, p_2, \dots, p_n$ болатын $x_1, x_2, \dots, x_n$ күйлерінің бірін кездейсоқ қабылдай алатын кейбір x жүйесі (мысалы, орыс алфавитінің әрпі) болсын делік.

Біз оны мүмкін күйлері $y_1, y_2, \dots, y_m$ болатын басқа Y жүйесінің көмегімен кодтағымыз келеді.

Егер $m < n$ болса, онда X жүйесінің әрбір күйін бір Y жүйесінің күйімен кодтау мүмкін емес. Бұл жағдайда X жүйесінің бір күйін Y жүйесінің күйлерінің белгілі бір комбинациясы арқылы көрсету керек.

Мұндай комбинацияларды таңдау *кодтау* деп аталады.

Кодтар комбинациялар пайда болатын *қарапайым сигналдар* санымен ерекшеленеді (яғни Y жүйесінің мүмкін күйлерінің саны бойынша). Екі элементар сигналдары бар код (0 және 1) *екілік* деп аталады (яғни $m = 2$). Біз әріптік кодтау жағдайын қарастырамыз, яғни хабарламаның әр әрпі жеке-жеке берілетін жағдай. Бұл жағдайда бастапқы алфавиттің n әріптерінің әрқайсысы кодтық белгілеумен салыстырылады, яғни екі элементар сигналдардың тізбегі (0 және 1). Кодты орнату үшін 0 және 1 сандарынан осындай тізбектердің n -ін тізімдеу керек.

Бір хабарламаны әртүрлі тәсілдермен кодтауға болады. Біз кодтауды неғұрлым тиімді деп санасақ, соғұрлым хабарламаны жіберуге қарапайым сигналдар аз жұмсалады.

Хабарлама берілгеннен кейін оны біржақты *декодтау* керек. Ол үшін бір әріптің кодтық белгіленуі қай жерде аяқталып, екіншісінің қай жерде басталатынын білуіңіз керек. Осы мақсатта сіз арнайы бөлу белгісін (үтірді) еңгізе аласыз немесе белгіленген ұзындықтағы кодтық белгілерді (біркелкі кодтар) қолдана аласыз. Үтірсіз біркелкі емес кодтарды қалай жасауға болатынын көрейік.

Егер кез - келген кодтық белгілеу басқа ұзын кодтық белгілеудің басталуымен сәйкес келмесе, біркелкі емес кодты біржақты декодтауға болады.

Мысалы, егер 011 – қандайда бір әріптің кодтық белгісі болса, онда 01 немесе 01100 кодтық белгісі бар әріптер болмауы мүмкін.

Көрсетілген шартты қанағаттандыратын кодтар *лезде декодталған* (префикс) деп аталады. Біз тек осындай кодтарды қарастырамыз.

3. Кодтар үнемділігі. Ең жақсы біркелкі код

Біз осы екілік кодтың пайдалылығын (үнемділігін) бір әріпті беру үшін қажетті қарапайым сигналдардың максималды санын пайдаланып өлшейміз.

Ең тиімді біркелкі код

b санының ондық санындағы a цифрларының саны келесі теңсіздікпен анықталады:

$$10^{a-1} \leq b < 10^a$$

яғни, $10^{2-1} = 10$ мен $10^2 - 1 = 99$ аралығындағы сандар екі таңбалы болады.

Сол сияқты, екілік санау жүйесінде a «саны» b санының жазбасындағы цифрлармен мына теңсіздікпен анықталады:

$$2^{a-1} \leq b < 2^a$$

Егер $a = 2$, онда бұл сандар $2^1 = 2$ ден $2^2 - 1 = 3$ аралығында болады. яғни **10, 11**.

Егер $a = 3$, онда бұл сандар $2^2 = 4$ до $2^3 - 1 = 7$. Т.е. **100, 101, 110, 111** — үш таңбалы.

Егер 0-ден бастап (яғни $0, 1, 2, \dots, b-1$) алғашқы b бүтін сандарды жазса, онда осы сандардың барлығының екілік жазбасы a белгілерінен аспайтын болады. a -таңбалы сандардан аз барлық екілік жазудың басына нөлдердің кейбір санын қосамыз, содан кейін кодтық белгілердің ең аз ұзындығымен b -әріптік алфавит үшін біркелкі екілік кодты аламыз.

Мысал 26. 10 әріптен тұратын алфавит болсын. Кодтық белгілердің минималды ұзындығымен біркелкі екілік кодты құрыңыз.

Шешімі. Екілік санау жүйесіндегі 0-ден 9-ға дейінгі сандар: 0, 01, 10, 11, 100, 101, 110, 111, 1000, 1001.

Алғашқы 8 санды нөлдермен төрт таңбаға дейін толықтырайық. Сонда 0000, 0001, 0010, 0011, 0100, 0101, 0111, 1000, 1001.

Бір әріптің кескініне кем дегенде $\log n = \log 10 = 3,32$ элементар сигнал, атап айтқанда 4-еу жұмсалады.

Мысал 27. Орыс алфавитінің әріптерін біркелкі екілік кодпен кодтаңыз: а, б, в, ..., е, ю, я, _ (бос орын). Барлығы 32 әріп (ь=ъ, е=ё).

Шешімі. Әріптердің ретін өзгертпестен, оларды 0-ден 31-ге дейінгі сандардың әр әрпіне жатқызамыз. Содан кейін біз нөмірлеуді екілік жүйеге аударамыз және нөлдердің басында қажет болған жағдайда толықтырамыз. Алайық: а 0 00000; б~00001; в 0 00010; ... мен~11110; _ (бос орын)~11111.

Мұндай кодтау кезінде бір әріптің кескініне $\log N = \log 32 = 5$ элементар сигналдар жұмсалады.

Екінші жағынан, әрбір қарапайым сигнал максималды ақпаратты жіберген кезде код ең үнемді болады.

Элементар сигналды екі мүмкін күйі бар физикалық жүйе ретінде қарастырыңыз: 0 және 1.

0	1
p_1	p_2

Бұл сигнал беретін ақпарат осы жүйенің энтропиясына тең және екі күй де бірдей ықтимал болған жағдайда максималды болады. Содан кейін қарапайым сигнал 1 бит ақпаратты жібереді.

Сондықтан оңтайлы кодтау үшін кодталған хабарламадағы қарапайым сигналдар орта есеппен бірдей жиі кездесуі керек. Бұл мақсатқа Шеннон-Фано мен Хаффманның кодтау әдістерін қолдану арқылы қол жеткізуге болады.

4. Шеннон-Фано және Хаффмен кодтары

Шеннон-Фано коды мен Хаффмен кодын құрастырған кезде хабарламаның бір әрпіне келетін қарапайым сигналдар санының *ықтимал* орташа мәні маңызды болып табылады. Хабарламаның кез-келген жерінде пайда болу жиілігі $p_1, p_2, \dots, p_n$ ($\sum p_i = 1$) ықтималдығымен сипатталатын n “әріптерімен” жазылған хабарламаны қарастырылады. Сонымен қатар, хабарламаның кез-келген жерінде i -ші әріптің пайда болу ықтималдығы p_i барлық алдыңғы орындарда қандай әріптердің болуына байланысты емес.

Кодталған хабарламада бастапқы хабарламаның бір әрпіне келетін екілік элементар сигналдардың орташа саны $H = -p_1 \log p_1 - \dots - p_n \log p_n$, шамасынан аз болуы мүмкін емес, мұндағы H — мәтіннің бір әрпін анықтау тәжірибесінің энтропиясы (яғни, бір әріптің энтропиясы).

Сондықтан кез-келген кодтау әдісімен K әріптерінен ұзын хабарламаны жазу үшін кем дегенде KH екілік таңбалар қажет. Бұл K әріптерін қамтитын мәтін үзіндісіндегі ақпарат KH -ге тең болатындығынан туындайды (егер жеке әріптер тәуелсіз болса).

Екінші жағынан, бір элементар сигналдағы ақпарат (0 немесе 1) бір биттен аспауы керек. Егер $p_1, \dots, p_n$ ықтималдығы бір-біріне тең болмаса, онда $H < \log n$.

Осыдан, егер мәтіндегі әріптердің пайда болу жиілігін ескеретін болса, онда K әріптерінен мәтінді жазу үшін кем дегенде $K \log n$ екілік таңбаларды қажет ететін ең жақсы біркелкі кодқа қарағанда үнемді кодты құруға болады.

4.1. Шеннон-Фано коды

Барлық кодталатын әріптерді ықтималдықтарының кему ретімен бір бағанға орналастырамыз. Біз оларды шамамен екі тең мүмкін топқа бөлеміз. Таңбалардың бірінші тобы үшін комбинацияның бірінші орнына 0, екінші топ үшін — 1 қоямыз. Әрі қарай, әр топ қайтадан екі бірдей ықтимал кіші

топқа бөлінеді. Бірінші кіші топтың рәміздері үшін бірінші орында 0, екінші топ үшін — 1 және т. б.

Бұл кодтау әдісінің негізгі принципі-кодтық белгілеудің әрбір цифры мүмкіндігінше бірдей ықтималдықпен ол үшін мүмкін болатын екі мәнді (0 және 1) қабылдайды. Бұл әдіспен ешқандай кодтық белгілер ұзынырақ кодтық белгілеудің басы бола алмайды. Сонымен қатар, ықтималдығы жоғары әріптер қысқа кодтық белгілерге сәйкес келеді.

Мысал 28. 9 әріптен тұратын алфавит болсын. Әріптердің пайда болу жиілігі 0,3; 0,2; 0,15; 0,1; 0,1; 0,05; 0,05; 0,03; 0,02. Барлық әріптер тәуелсіз. Шеннон-Фано әдісі бойынша кодтық белгілерді жасаңыз.

Шешімі.

Хабарламаның бір әрпіне келетін қарапайым сигналдардың орташа саны

Әріптер №	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ықтималдығы	0,3	0,2	0,15	0,1	0,1	0,05	0,05	0,03	0,02
Сигналдар саны	2	2	3	3	3	4	5	6	6

$$0,3 \cdot 2 + 0,2 \cdot 2 + 0,15 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,05 \cdot 4 + 0,05 \cdot 5 + 0,03 \cdot 6 + 0,02 \cdot 6 = 2,8$$

Бұл жағдайда берілетін хабарламаның бір әрпінің энтропиясы:

$$H = 0,5211 + 0,4644 + 0,4105 + 2 \cdot 0,3322 + 2 \cdot 0,2161 + 0,1518 + 0,1129 = 2,7573$$

№	Ықтималдығы	Кіші топтарға бөлу	Кодтық белгілеуі
1	0,3	} _I } _I	11
2	0,2	} _I } _{II}	10
3	0,15	} _I } _I } _I	011
4	0,1	} _I } _I } _{II}	010
5	0,1	} _I } _I } _I	001
6	0,05	II } _I } _I	0001
7	0,05	II } _I } _{II} } _I	00001
8	0,03	II } _I } _{II} } _{II} } _I	000001
9	0,02	II } _I } _{II} } _{II} } _{II} } _{II}	000000

Демек, кейбір кодтық белгілердің ұзындығының мәні өте көп болуы мүмкін, бірақ мұндай белгілеудің орташа ұзындығы H -ден сәл ғана үлкен болады.

Ескерту. Жоғарыда келтірілген мысалда 10 әріптік алфавит үшін ең жақсы біркелкі код 4 таңбалы код белгілерінен тұрады ($2^{4-1} < 10 < 2^4$).

Мысал 29. Орыс алфавитінің әріптерін кодтау мысалына Шеннон-Фано әдісін қолданыңыз. 27-мысалды қараңыз.

Шешімі. Орыс тілінде «а», «о», «е» әріптері жиі кездеседі, ал «щ», «ф» әріптері сирек кездеседі.

1-кестеде орыс алфавитінің әріптерінің жиілігі және Шеннон-Фано әдісімен жасалған кодтық белгілеу келтірілген.

Берілетін мәтіннің бір әрпіндегі орташа ақпарат бір әріптің энтропиясына тең:

32

$$H = -\sum_{i=1}^{32} p_i \log p_i = \eta(0,145) + \eta(0,095) + \dots + \eta(0,002) \approx 4,42 \text{бит}$$

Бір әріпке келетін қарапайым сигналдардың орташа саны:

$$n_{\text{cp}} = 3 \cdot 0,145 + 3 \cdot 0,095 + 4 \cdot 0,074 + \dots + 9 \cdot 0,002 = 4,45 \text{бит}$$

Бір элементар таңбаға келетін орташа ақпарат:

$$I_{1c} = \frac{H}{n_{\text{cp}}} = \frac{4,42}{4,45} \approx 0,994 \text{бит}$$

Демек, бір таңбаға сәйкес келетін ақпарат оның жоғарғы шегі 1-ге жақын, ал таңдалған код оңтайлы жақын.

Ең жақсы біркелкі кодты пайдаланған кезде бір элементар сигналға арналған ақпарат

$$I_{1c} = \frac{H}{n_{\text{cp}}} = \frac{4,42}{5} \approx 0,884 \text{бит}$$

Кесте 1. Орыс алфавитінің әріптерінің жиілігі; Шеннон-Фано әдісімен

алынған кодтық белгілеулер

Әріптер	Әріптер жиілігі	Кодтық белгілеулері
бос орын	0,145	000
о	0,095	001
е	0,074	0100
а	0,064	0101
и	0,064	0110
т	0,056	0111
н	0,056	1000
с	0,047	1001
р	0,041	10100
в	0,039	10101
л	0,036	10110
к	0,029	10111
м	0,026	11000
д	0,026	110010
п	0,024	110011
у	0,021	110100
я	0,019	110110
ы	0,016	110111
з	0,015	111000
ь,ъ	0,015	111001
б	0,015	111010
г	0,014	111011
ч	0,013	111100
й	0,010	1111010
х	0,009	1111011
ж	0,008	1111100
ю	0,007	1111101
ш	0,006	11111100
ц	0,004	11111101
щ	0,003	11111110
э	0,003	111111110
ф	0,002	111111111

4.2. Хафмен коды

Әріптері $x_1, \dots, x_n$ болатын X алфавитін қарастыралық, алфавиттегі олардың пайда болу ықтималдығы $p_1, \dots, p_n$. Әріптерді ықтималдықтың кему ретімен орналастырамыз.

X алфавитіндегі x_{n-1}, x_n ең аз ықтимал екі әріпті біріктіреміз, $x_1, x_2, \dots, x_{n-2}, y$ әріптері бар X_1 алфавитін аламыз. X_1 алфавиті X -ті бір рет қысқарту арқылы алынды.

X_1 алфавитінің әріптерін ықтималдықтың кему ретімен орналастырып және оны қысқартамыз. X_2 алфавитін аламыз. X_2 алфавиті X - ті екі рет қысқарту арқылы алынды.

$n-2$ рет қысқартылғаннан кейін біз екі әріптен тұратын X_{n-2} алфавитіне келеміз.

X_{n-2} соңғы алфавитінің екі әрпіне 1 және 0 кодтарын жазайық.

Әрі қарай, егер кодтық белгілер X_j алфавитінің барлық әріптеріне берілген болса, онда X_j алфавитінде сақталған алдыңғы X_{j-1} алфавитінің әріптеріне X_{j-1} алфавитінде болған кодтық белгілерді жатқызамыз. X_{j-1} алфавитінің бір y әрпіне біріктірілген X_j алфавитінің x' және x'' екі әрпіне соңында 1 және 0 сандарын қосу арқылы y әрпінің кодтық белгіленуінен алынған белгілерді жатқызамыз.

Мысал 30. 9 әріптен тұратын алфавит бар. Әріптердің пайда болу жиілігі 0,3; 0,2; 0,15; 0,1; 0,1; 0,05; 0,05; 0,03; 0,02. Барлық әріптер тәуелсіз. Хафмен әдісі бойынша кодтық белгілеулерді жасау керек.

Шешімі. Біз бастапқы алфавиттің әріптерін ықтималдықтың кему ретімен орналастырамыз және оны қысқартамыз. $X_1, \dots, X_7$ алфавиттерін аламыз.

№	X	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6
2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4
3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,2	0,2	0,3	
4	0,1	0,1	0,1	0,15	0,15	0,2		
5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15			
6	0,05	0,05	0,1	0,1				
7	0,05	0,05	0,05					
8	0,03	0,05						
9	0,02							

X_7 алфавитінің екі әрпіне 1 және 0 кодтарын жазайық. X_7 -ден X -ге ауыса отырып, біз бастапқы алфавит үшін кодтық белгілеулерді аламыз.

№	X	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
1	0,3 11	0,3 11	0,3 11	0,3 11	0,3 11	0,3 11	0,4 0	0,6 1
2	0,2 01	0,2 01	0,2 01	0,2 01	0,2 01	0,3 10	0,3 11	0,4 0
3	0,15 101	0,15 101	0,15 101	0,15 101	0,2 00	0,2 01	0,3 10	
4	0,1 001	0,1 001	0,1 001	0,15 100	0,15 101	0,2 00		
5	0,1 000	0,1 000	0,1 000	0,1 001	0,15 100			
6	0,05 1000	0,05 1000	0,1 1001	0,1 000				
7	0,05 10011	0,05 10011	0,05 1000					
8	0,03 100101	0,05 10010						
9	0,02 100100							

Бір әріпке келетін қарапайым сигналдардың орташа саны $n_{cp} = 2,8$. Энтропия $H = 2,7573$.

Хафмен әдісімен кодтау, Шеннон - Фано әдісі сияқты, нақты анықталған процедура емес.

5. Блоктік кодтар

«Әріптер» бойынша кодтау кодталудың ең үнемдісі болып табылмайды. Ұзақ хабарламаларды жіберу кезінде блоктық кодтарды пайдалану тиімдірек болып келеді. Сонымен, орыс тілінде мағыналы мәтіннің көрші әріптері арасында тәуелділік бар. Мысалы, жіңішке белгіден кейін «и» немесе «а», ал ызыңәріптерден(шипящие буквы) кейін «я» немесе «ю» әріптері кездеспейді және т.б. Сол сияқты «ает», «тся», «ние» және т.с.с. сияқты комбинацияларды блоктарға біріктіруге болады.

Тәуелді жүйелерді біріктіру кезінде $H(X,Y) \leq H(X) + H(Y)$, содан кейін бірден үлкен блоктарды кодтау хабарламаның бір әрпіне келетін қарапайым сигналдардың орташа саны бір әріптің энтропиясына мүмкіндігінше жақын болатындығына қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Мысал 31. Алфавит екі әріптен тұрады: $p(X)=0,8$, $P(Y)=0,2$.

Шеннон-Фано әдісімен кодтық белгілеулерді жасаңыз: (1) әліпбиді әріптер арқылы кодтау, (2) екі әріптен тұратын блоктарды кодтау, (3) үш әріптен тұратын блоктарды кодтау.

Шешімі. (1) Шеннон-Фано әдісін бастапқы алфавиттің әріптік кодтауына қолданамыз:

	Ықтималдығы	Кодтық белгілеулері
X	0,8	1
Y	0,2	0

Бір әріптен тұратын энтропия: $H = \eta(0,8) + \eta(0,2) = 0,7219$.

Қарапайым сигналдардың орташа саны: $n_{cp1} = 0,8 \cdot 1 + 0,2 \cdot 1 = 1$. (2)
Шеннон-Фано әдісін екі әріптен тұратын комбинациялардың барлық түрлерін кодтауға қолданамыз:

№	Ықтималдығы	Кодтық белгілеулері
XX	0,64	1
XY	0,16	01
YX	0,16	001
YY	0,04	000

Екі әріптен тұратын бір комбинациялы қарапайым сигналдардың орташа саны: $n_{cp2} = 0,64 \cdot 1 + 0,16 \cdot 2 + 0,16 \cdot 3 + 0,04 \cdot 3 = 1,56$. Бір әріпке келетін қарапайым сигналдардың орташа саны: $n_{cp2} = \frac{n_{cp2}}{2} = 0,78$.

0,78 саны бір әріп энтропиясына жақындатылып $H = 0,7219$ әріптік кодтау жағдайында 1 санымен салыстырылады.

(3) Шеннон-Фано әдісін барлық мүмкін болатын үш әріптен тұратын комбинацияларды кодтауға қолданамыз:

№	Ықтималдығы	Кодтық белгілеулері
XXX	0,512	1
XXY	0,128	011
XYX	0,128	010
YXX	0,128	001
YYX	0,032	00011
YXY	0,032	00010
XY Y	0,032	00001
YYY	0,008	00000

Үш әріптік бір комбинацияға келетін қарапайым сигналдардың орташа саны: $n_{cp3} = 2,184$. Бір әріпке келетін қарапайым сигналдардың орташа саны: $n_{cp2} = \frac{n_{cp3}}{3} = 0,7280$.

0,7280 саны бір әріптің $H = 0,7219$ энтропиясына бұрынғыдан да жақындады.

6. k-лы кодтарды жалпылау

Кодты жасақтау үшін k элементар сигналдар қолданылады. Содан кейін Шеннон-Фано кодын жасау үшін таңбалар тобын екіге емес, k бөліктерге бөлу керек.

Хафман кодын жасақтау кезінде алфавитті қысқарту операциясын қолдану керек, онда әр уақытта екі емес, ықтималдығы ең аз болатын бастапқы алфавиттің k әріптері біріктіріледі. Бұл жағдайда қысқарту нәтижесінде k әріптерінен алфавит алу үшін бастапқы алфавиттің n әріптерінің саны келесі шартты қанағаттандыруы керек: $n = k+z(k-1)$, мұндағы z – бүтін сан.

k -кодты қолданатын кез-келген кодтау әдісінде хабарламаның бір әрпіне келетін қарапайым сигналдардың орташа саны, $H/\log k$ қатынасынан ешқашан кем болмауы мүмкін, мұндағы H - хабарламаның бір әрпіне келетін энтропия, $\log k$ -бір қарапайым сигналды қамтитын максималды ақпарат. Алайда, егер сіз жеткілікті ұзын блоктарды кодтасаңыз, оны осы мәнге жақын етіп жасауға болады.

Мысал 32. Алфавит ықтималдығы 0,3;0,2;0,15; 0,12;0,1;0,05;0,05;0,03 болатын сегіз әріптен тұрады. Хафманның үштік алгоритмін құрыңыз.

Шешімі. $k = 3$ кезінде $n = k + z(k - 1)$ шартын орындау үшін бастапқы алфавиттің әріптер саны $n = 9$ болуы керек. Ықтималдығы 0 болатын тағы бір әріп қосалық.

№	X	X ₁	X ₂	X ₃
1	0,3 1	0,3 1	0,3 1	0,47 0
2	0,2 00	0,2 00	0,23 2	0,3 1
3	0,15 01	0,15 01	0,2 00	0,23 2
4	0,12 02	0,12 02	0,15 01	
5	0,1 20	0,1 20	0,12 02	
6	0,05 22	0,08 21		
7	0,05 210	0,05 22		
8	0,03 211			
9	0 –			

$n_{opt} = 1,78$ элементар сигналдарының орташа саны қатынасынан кем болмайды

$$\frac{H}{\log k} = \frac{0,5211+0,4644+0,4105+0,3671+0,3322+0,2161*2+0,1518}{\log 3} = \frac{2,6793}{1,5849} = 1,6904.$$

7. Сөздікке арналған кодтау әдістері. Лемпелл-Зив әдісі

Сөздік алгоритмдерінің артықшылығы – олар әр түрлі ұзындықтағы таңбалар тізбегін кодтауға мүмкіндік береді. Біріншісі – LZ77(1977) алгоритмі. Кейін ол бірнеше рет өзгертілді. Көптеген модификациялары LZX деп аталды, мұндағы X – модификация авторының атының бірінші

әрпі. LZ алгоритмдерінің танымалдығы олардың қысқартудағы жоғары тиімділігі және қарапайымдылығымен түсіндіріледі.

Төменде екі алгоритмді қарастырамыз: LZ77, LZ78.

7.1. LZ77 алгоритмі

LZ77 алгоритмінде хабарлама бойынша «ауыспалы» екі тең емес бөлікке бөлінген терезе. Біріншісі, өлшемі үлкен, хабарламаның бұрын қаралған бөлігін қамтиды. Екіншісі, әлдеқайда кішірек, кіріс ағынының әлі кодталмаған таңбалары бар буфер болып табылады. Алгоритм сөздіктен (терезенің көп бөлігі) буфердің мазмұнына сәйкес келетін үзінді табуға тырысады.

LZ77 алгоритмі үш элементтен тұратын кодтарды шығарады: (1)буфер мазмұнының басына сәйкес келетін жолдың басына қатысты сөздіктегі орын ауыстыру; (2)осы жолдың ұзындығы; (3)сәйкестіктен кейінгі бірінші буфер таңбасы.

Мысал 33. LZ77 алгоритмі бойынша «ЗЕЛЕНАЯ_ЗЕЛЕНЬ_ЗЕЛЕНЕЕТ» жолын кодтау қажет. Буфердің өлшемі – 7 таңба, ал сөздік – 9 таңба.

Шешімі.

Сөздік (9)									Буфер (7)							Код
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	З	Е	Л	Е	Н	А	Я	$\langle 0, 0, 3 \rangle$
.	.	.	.	.	.	.	.	З	Е	Л	Е	Н	А	Я	_	$\langle 0, 0, Е \rangle$
.	.	.	.	.	.	.	З	Е	Л	Е	Н	А	Я	_	З	$\langle 0, 0, Л \rangle$
.	.	.	.	.	.	З	Е	Л	Е	Н	А	Я	_	З	Е	$\langle 7, 1, Н \rangle$
.	.	.	.	З	Е	Л	Е	Н	А	Я	_	З	Е	Л	Е	$\langle 0, 0, А \rangle$
.	.	.	З	Е	Л	Е	Н	А	Я	_	З	Е	Л	Е	Н	$\langle 0, 0, Я \rangle$
.	З	Е	Л	Е	Н	А	Я	Я	_	З	Е	Л	Е	Н	Ь	$\langle 0, 0, _ \rangle$
.З	Е	Л	Е	Н	А	Я	_	З	Е	Л	Е	Н	Ь	_		$\langle 1, 5, Ь \rangle$
А	Я	_	З	Е	Л	Е	Н	Ь	_	З	Е	Л	Е	Н	Е	$\langle 2, 6, Е \rangle$
Н	Ь	_	З	Е	Л	Е	Н	Е	Е	Т	.	.	.	.	.	$\langle 4, 1, Т \rangle$

Кодтың ұзындығы келесідей есептеледі: жолдың ұзындығы буфер өлшемінен +1 үлкен болмауы мүмкін, ал орын ауыстыру сөздік өлшемінен үлкен болмауы мүмкін. Демек, ауыстырылудағы екілік кодтың ұзындығы $\log(\text{сөздік өлшемі})$ үлкен жағына дөңгелектенеді, ал жолдың ұзындығына арналған екілік кодтың ұзындығы журналдың үлкен жағына дөңгелектенеді $\log(\text{буфер өлшемі} + 1)$. А таңбасы 8 битпен кодталады (мысалы, ASCII+).

Алынған кодтың ұзындығы: $10 \cdot (\log(9) + \log(7 + 1) + 8) \approx 10 \cdot (4 + 3 + 8)$, яғни 150 бит.

Бастапқы жолдың ұзындығы 23 таңба, яғни $23 \cdot 8 = 184$ бит.

Мысал 34. Сөздіктің ұзындығы – 9 таңба. LZ77 қысқарту арқылы хабарлама шешкенде: $\langle 0, 0, 3 \rangle$, $\langle 0, 0, E \rangle$, $\langle 0, 0, Л \rangle$, $\langle 7, 1, Н \rangle$, $\langle 0, 0, А \rangle$, $\langle 0, 0, Я \rangle$, $\langle 0, 0, _ \rangle$, $\langle 1, 5, Ъ \rangle$, $\langle 2, 6, Е \rangle$, $\langle 4, 1, Т \rangle$.

Шешімі.

Кіріс коды	Басып шығару	Сөздік (9)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\langle 0, 0, 3 \rangle$	З	.	.	.	.	.	.	.	.	З
$\langle 0, 0, E \rangle$	Е	.	.	.	.	.	.	.	З	Е
$\langle 0, 0, Л \rangle$	Л	.	.	.	.	.	.	З	Е	Л
$\langle 7, 1, Н \rangle$	ЕН	.	.	.	.	З	Е	Л	Е	Н
$\langle 0, 0, А \rangle$	А	.	.	.	З	Е	Л	Е	Н	А
$\langle 0, 0, Я \rangle$	Я	.	.	З	Е	Л	Е	Н	А	Я
$\langle 0, 0, _ \rangle$	_	.	З	Е	Л	Е	Н	А	Я	_
$\langle 1, 5, Ъ \rangle$	ЗЕЛЕНЬ	А	Я	_	З	Е	Л	Е	Н	Ь
$\langle 2, 6, Е \rangle$	_ЗЕЛЕНЕ	Н	Ь	_	З	Е	Л	Е	Н	Е
$\langle 4, 1, Т \rangle$	ЕТ	_	З	Е	Л	Е	Н	Е	Е	Т

7.2. LZ78 алгоритмі

LZ77 алгоритмі бір-бірінен алшақ тұрған жолдарды сөздік ұзындығынан үлкен қашықтыққа кодтауға мүмкіндік бермейді, ал кодтауға болатын жолдың ұзындығы буфер өлшемімен шектеледі. Егер сіз сөздік пен буфердің өлшемдерін ұлғайтсаңыз, бұл кодтау тиімділігін төмендетеді.

LZ78 «ауыспалы» терезені қолданбайды, ол одан бұрынғы қаралған сөз тіркестерінің сөздігін сақтайды. Алгоритм басталған кезде бұл сөздікте нөлдік ұзындықтан тұратын бір бос жолы болады. Алгоритм жинақталатын жол сөздік сөз тіркестерінің біріне толығымен енгенше хабарлама таңбаларын оқиды. Бұл жол сөздіктің кем дегенде бір сөз тіркесіне сәйкес келмейтіндіктен, алгоритм сөздіктегі жол индексінен тұратын кодты жасайды, ол соңғы енгізілген таңбаға дейін кіріс жолын және сәйкестікті бұзған таңбаны қамтиды. Содан кейін сөздікке енгізілген жол қосылады. Егер сөздік қазірдің өзінде толтырылған болса, онда салыстыруда ең аз қолданылатын сөз тіркесі алдын-ала жойылады.

Алынған екілік кодтың ұзындығы $\log$ (сөздік өлшемі) +8 (8 бит таңбалармен кодталады, мысалы, ASCII+) үлкен жағына дөңгелектенеді.

Мысал 35. LZ78 алгоритмі бойынша 16 сөз тіркесінің сөздігін қолдана отырып, «ЗЕЛЕНАЯ_ЗЕЛЕНЬ_ЗЕЛЕНЕЕТ» жолын кодтаңыз.

Шешімі.

Кіріс фразасы (сөздікке)	Код	Сөздік позициясы
«»		0
З	$\langle 0, 3 \rangle$	1
Е	$\langle 0, Е \rangle$	2
Л	$\langle 0, Л \rangle$	3
ЕН	$\langle 2, Н \rangle$	4
А	$\langle 0, А \rangle$	5
Я	$\langle 0, Я \rangle$	6
—	$\langle 0, _ \rangle$	7
ЗЕ	$\langle 1, Е \rangle$	8
ЛЕ	$\langle 3, Е \rangle$	9
Н	$\langle 0, Н \rangle$	10
Ь	$\langle 0, Ь \rangle$	11
_З	$\langle 7, 3 \rangle$	12
ЕЛ	$\langle 2, Л \rangle$	13
ЕНЕ	$\langle 4, Е \rangle$	14
ЕТ	$\langle 2, Т \rangle$	15

Мұндай сөздіктің кез - келген сөз тіркесінің көрсеткіші 0-ден 15-ке дейінгі сан болып келеді, оны кодтау үшін $\log(16) = 4$ бит жеткілікті.

Алынған кодтың ұзындығы: $15 \cdot (4 + 8) = 180$ бит.

Мысал 36. Сөздіктің ұзындығы – 16 сөз тіркесі. LZ78 қысқарту арқылы хабарлама шешкенде: $\langle 0, 3 \rangle$, $\langle 0, Е \rangle$, $\langle 0, Л \rangle$, $\langle 2, Н \rangle$, $\langle 0, А \rangle$, $\langle 0, Я \rangle$, $\langle 0, _ \rangle$, $\langle 1, Е \rangle$, $\langle 3, Е \rangle$, $\langle 0, Н \rangle$, $\langle 0, Ь \rangle$, $\langle 7, 3 \rangle$, $\langle 2, Л \rangle$, $\langle 4, Е \rangle$, $\langle 2, Т \rangle$.

Шешімі

Кіріс коды	Басып шығару(сөздік)	Сөздік позициясы
«»		0
$\langle 0, 3 \rangle$	З	1
$\langle 0, Е \rangle$	Е	2
$\langle 0, Л \rangle$	Л	3
$\langle 2, Н \rangle$	ЕН	4
$\langle 0, А \rangle$	А	5
$\langle 0, Я \rangle$	Я	6
$\langle 0, _ \rangle$	—	7
$\langle 1, Е \rangle$	ЗЕ	8
$\langle 3, Е \rangle$	ЛЕ	9
$\langle 0, Н \rangle$	Н	10
$\langle 0, Ь \rangle$	Ь	11
Кіріс коды	Басып шығару (сөздік)	Сөздік позициясы
$\langle 7, 3 \rangle$	_З	12
$\langle 2, Л \rangle$	ЕЛ	13
$\langle 4, Е \rangle$	ЕНЕ	14
$\langle 2, Т \rangle$	ЕТ	15

8. Ақпаратты шығынмен қысқарту

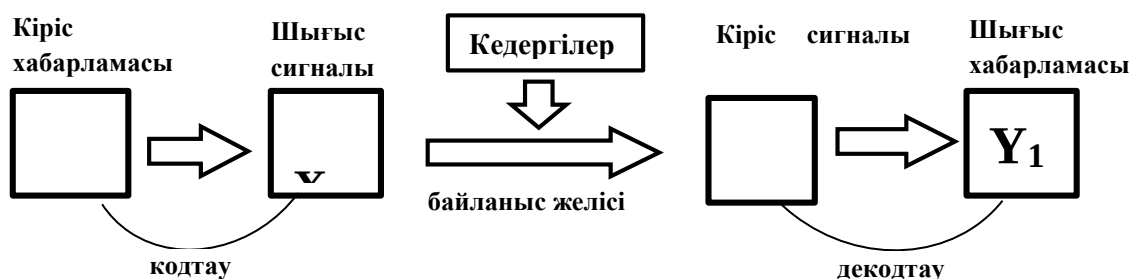
Жоғарыда қарастырылған ақпаратты кодтау алгоритмдері бастапқы деректерді толық қалпына келтіруге мүмкіндік берді. Бірақ кейде қысқарту коэффициентін арттыру үшін бастапқы ақпараттың бір бөлігін алып тастауға болады, яғни шығынмен қысқарту.

Шығынмен қысқартуда негізінен деректердің үш түрі үшін қолданылады: толық түсті графика, дыбыс және бейне ақпарат.

Графикалық ақпаратты шығынмен қысқартудың негізгі идеясы келесідей. Суреттегі әр нүкте үш бірдей негізгі атрибутпен сипатталады: жарықтық, түс және қанықтылық. Бірақ адамның көзі бұл атрибуттарды тең емес деп қабылдайды. Көз тек жарықтық туралы ақпаратты көбірек, ал түспен қанықтылық туралы азырақ қабылдайды, бұл кескін сапасын жоғалтпай соңғы екі атрибут туралы кейбір ақпаратты алып тастауға мүмкіндік береді.

Бейнеақпараттарды қысқарту экранда бір кадрдан екіншісіне ауысқан кезде ештеңе өзгермейтініне негізделген. Осылайша, қысылған бейнеақпарат кейбір базалық кадрлардың жазбасы және олардағы өзгерістер тізбегі болып табылады. Бұл жағдайда ақпараттың бір бөлігі алынып тасталуы мүмкін. Осылайша сығылған ақпаратты басқа әдістермен одан әрі қысқартуға болады.

9. Байланыс желісі бойынша хабарламаларды берудің жалпы схемасы. Байланыс желісінің өткізу қабілеті



Хабарламаларды берудің жалпы схемасы суретте көрсетілген. Кіріс пен шығыстағы X_1 және Y_1 хабарламалары бір тілде жазылады және тек бұрмалану нәтижесінде ерекшеленуі мүмкін. Кіріс пен шығыстағы X және Y сигналдары қарапайым сигналдар тізбегі болып табылады.

Егер уақыт бірлігі үшін байланыс желісі арқылы әр түрлі мәндердің k қабылдайтын L элементар сигналдарын жіберу мүмкін болатын болса, онда мұндай сызық бойынша хабарламалардың берілу жылдамдығы уақыт бірлігіндегі әріптерден артық болмайды.

$$\vartheta = \frac{L}{H} = \frac{L \log k}{H}$$

$C = L \log k$ шамасы (нумератор) байланыс сызығының өзіне байланысты. H (бөлгіш) шамасы берілген хабарламаны сипаттайды.

C шамасының мәні – байланыс желісінің өткізу қабілеттілігі (байланыс желісінің сыйымдылығы), уақыт бірлігінде желі арқылы берілетін ақпарат бірліктерінің ең көп санын көрсетеді (өйткені бір элементар сигналда $\log k$ ақпарат бірліктері ең көп болуы мүмкін).

Егер байланыс желісі арқылы екі элементар сигнал берілсе ($k = 2$), онда байланыс желісінің өткізу қабілеті бір секундта берілген биттер санымен немесе бодтармен (baud) өлшенеді: 1 бод=1 бит/сек.

Байланыс арнасының кедергісіз өткізу қабілеттілігін осы арнада рұқсат етілген толқындық процестердің максималды жиілігін білу арқылы шамамен есептеуге болады. Деректерді берудің максималды жылдамдығы осы жиіліктен кем болмауы мүмкін деп санауға болады. Мысалы, 1000 Гц-ке тең шекті жиілікте кем дегенде 1 Кбод деректерді беру жылдамдығын қамтамасыз етуге болады. Байланыс арналарының мысалдары және олармен байланысты шекті жиіліктер: телеграф — 140 Гц, телефон-3.1 КГц, қысқа толқындар (10-100 м) - 3-30 МГц, ультрақысқа толқындар (1-10 м) — 30-300 МГц, спутник (сантиметрлік толқындар) — 30 ГГц дейін, оптикалық (инфрақызыл диапазон) — 0.15 — 400 ТГц, оптикалық (көрінетін жарық)—400-700 ТГц, оптикалық (ультракүлгін диапазон) - 0.7-1.75 ПГц.

5-тарау. Кедергілер болған кезде хабарламаларды беру

Іс жүзінде ақпаратты беру процесі әрдайым кедергілермен бірге жүреді. Кедергілердің болуы ақпараттың жоғалуына әкеледі. Желінің қабылдау жіберілген хабарламаны дәл қайта құру үшін шаралар қабылдау қажет. Мысалы, жіберілген хабарламаға «артықшылықты» енгізу (хабарламаны бірнеше рет жіберу немесе әр әріптің орнына таныс сөз немесе атау берілгенде хабарламаны «хатпен» жіберу).

Дискретті байланыс желісінің қарапайым схемасын қарастырыңыз, яғни әр түрлі "тұрақты ұзындықтағы қарапайым сигналдардың" шектеулі саны ғана сызық бойымен беріледі деп есептейік. Мұндай сызықта кедергілердің болуы шатасуға әкеледі. Яғни бір типтегі қарапайым сигнал басқа сигнал түрімен қателесуі мүмкін.

1. Кедергілері бар байланыс желісін математикалық сипаттау

Байланыс желісі n элементар $x_1, x_2, \dots, x_n$ сигналдарын пайдалансын. Кедергілердің болуына байланысты x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) сигналы кейде кейбір басқа x_j ($x_i \neq x_j$) үшін қолдану жағында қабылдануы мүмкін. Яғни,

$p(x_1/x_1)$ – x_1 сигналын беру арқылы қабылдау соңында дұрыс x_1 сигналын алу ықтималдығы.

$p(x_2/x_1), p(x_3/x_1), \dots, p(x_n/x_1)$ – x_1 сигналының қабылдаушы жағында $x_2, x_3, \dots, x_n$ ретінде декодталуының ықтималдығы.

$p(x_1/x_2), p(x_2/x_2), \dots, p(x_n/x_2)$ – егер x_2 сигналы нақты жіберілген болса, қабылдау соңында $x_1, x_2, \dots, x_n$ сигналдарын қабылдау ықтималдығы.

Біз кедергілерді статистикалық сипаттайтын ықтималдықтар кестесін аламыз:

$$\begin{array}{cccc} p(x_1/x_1) & p(x_2/x_1) & \dots & p(x_n/x_1) \\ p(x_1/x_2) & p(x_2/x_2) & \dots & p(x_n/x_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p(x_1/x_n) & p(x_2/x_n) & \dots & p(x_n/x_n) \end{array}$$

Сонымен, кедергісі бар байланыс желісін сипаттау үшін (1) n – әртүрлі элементар сигналдар санын, (2) L – элементар сигналдардың берілу жылдамдығын, (3) n^2 теріс емес сандарды $p(x_i/x_j)$ орнатады, n шартты қанағаттандыратын $p(x_1/x_i) + p(x_2/x_i) + \dots + p(x_n/x_i) = 1$ ($i = 1, 2, \dots, n$) ашу әсерін сипаттайды.

Енді желінің қабылдау ұшында кедергілер жіберілген сигналды бұрмалады делік, оны n пайдаланылған x_i сигналдарының ешқайсысымен анықтау мүмкін емес. Сонда жолдың қабылдау ұшында n емес, m басқа сигналдар алынды деп есептейміз (мұндағы $n > m$ немесе $n < m$ немесе $n = m$). $y_1, y_2, \dots, y_m$ – қабылданған сигналдар, барлығы немесе ішінара жіберілген $x_1, x_2, \dots, x_n$.

Сонда кедергілер статистикалық түрде nm теріс емес сандармен

сипатталады:

$$\begin{matrix} p(y_1/x_1) & p(y_2/x_1) & \dots & p(y_m/x_1) \\ p(y_1/x_2) & p(y_2/x_2) & \dots & p(y_m/x_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p(y_1/x_n) & p(y_2/x_n) & \dots & p(y_m/x_n) \end{matrix}$$

мұндағы $p(y_j/x_i)$ – егер x_i нақты берілсе, y_j сигналының қабылдаушы жақта қабылдану ықтималдығы.

Бұл жағдайда сызық n, m, L және nm сандарымен $p(y_j/x_i)$ ($p(y_1/x_i) + p(y_2/x_i) + \dots + p(y_m/x_i) = 1$) сипатталады.

Мысал 37. Байланыс желісі төрт түрлі қарапайым сигналдарды қолданады. Сигналдың қатесіз берілу ықтималдығы – 0,73. Қате болған жағдайда өшіру ықтималдығы 0,003-ке тең, ал егер өшіру болмаса, онда сигналдардың әрқайсысы одан басқа үшеуінің кез келгені ретінде қабылданады. Қабылдау ықтималдығы кестесін құрыңыз.

Шешімі. Егер өшіру болмаған болса, онда желінің қабылдау ұшындағы сигналдардың әрқайсысы ықтималдығы бар үшеуінің кез келгені ретінде қабылданады

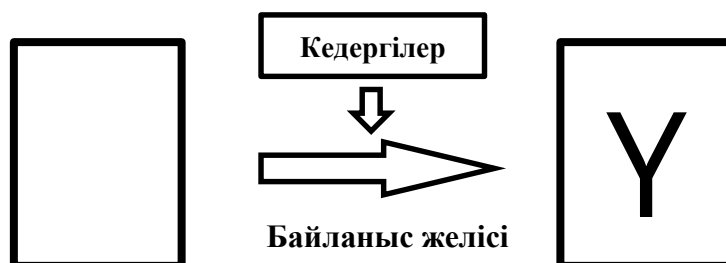
$$\frac{1 - 0,73 - 0,03}{3} = 0,08$$

Сонда

0,73	0,08	0,08	0,08	0,003
0,08	0,73	0,08	0,08	0,003
0,08	0,08	0,73	0,08	0,003
0,08	0,08	0,08	0,73	0,003

2 Кедергісі бар арнаның өткізу қабілеті

Ақпарат көзі X , байланыс желісі және қабылдағыш Y -тен тұратын күрделі жүйені қарастырайық.



Ақпарат көзі n -ның мүмкін күйлері $x_1, x_2, \dots, x_n$ ықтималдығы $p_1, p_2, \dots, p_n$ болатын X физикалық жүйе болып табылады. Бұл күйлерді X ақпарат көзін байланыс желісі арқылы Y қабылдағышқа жіберуге болатын элементар сигналдар ретінде қарастырамыз.

Ақпарат көзінің беретін бір сигналдың ақпарат мөлшері бір сигналға келетін энтропияға тең:

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i$$

Қателер болған жағдайда Y жүйесінде X -ке қатысты ақпараттың мөлшері:

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

Біз $H(X/Y)$ -ті кедергінің әсерінен бір элементар сигналға ақпараттың жоғалуы ретінде қарастырамыз.

Кедергілермен байланыс желісінің өткізу қабілеттілігін анықтайық, яғни байланыс желісі уақыт бірлігіне жібере алатын ақпараттың максималды мөлшері.

Байланыс желісі L элементар сигналдарды жібере алады делік. Кедергі болмаған жағдайда желінің өткізу қабілеті мынаған тең болады: $C = L \log n$.

Кедергілер болған кезде желінің өткізу қабілеті келесідей анықталады

$$C = L \max I(Y, X)$$

мұндағы $\max I(Y, X)$ – кедергі бар болған кезде желі жібере алатын бір сигналдың максималды ақпараты.

Бұл шаманы есептеу қиын мәселе болып келеді. Бұл сигналдардың қалай және қандай ықтималдықтармен бұрмаланатынына, олардың қателесуі орын алатынына және т.б. байланысты, бірақ қарапайым жағдайлар үшін байланыс желісінің өткізу қабілеттілігін есептеуге болады.

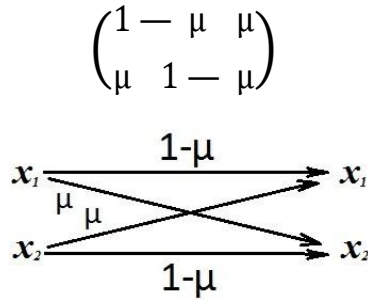
1. Байланыс желісі n элементар сигналдарды $x_1, x_2, \dots, x_n$ пайдаланады. $y_1, y_2, \dots, y_m$ сызығының қабылдау ұшындағы сигналдар $i = j$ кезіндегі $x_1, x_2, \dots, x_n$ ($n = m$) және $p(y_j/x_i) = 1$ сигналдарымен сәйкес келеді. Демек, $i \neq j$ кезінде $p(y_j/x_i) = 0$. Яғни, берілген сигнал әрқашан тап солай қабылданады (кедергі әсер етпейді немесе жоқ). Кедергілердің ықтималдылық кестесі:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Мұнда $H(X/Y) = 0$. Осыдан $\max I(Y/X) = \max H(X) = \log n$. Бұл берілген сигналдың барлық күйлері бірдей ықтимал болған кездегі ең үлкен мән ($p(x_1) = \dots = p(x_n) = 1/n$). Бұл жағдайда $C = L \log n$.

2. Байланыс желісі уақыт бірлігіне L сигналдарының санында екі x_1 және x_2 қарапайым сигналдарын жібере алады. Беру процесінде әр сигналды μ қарама-қайшыға ауыстыруға болады. Мұндай сызық екілік симметриялы байланыс сызығы деп аталады. Байланыс желісінің өткізу қабілеттілігін табыңыз.

Кедергі ықтималдығы кестесі:



Байланыс желісі бере алатын бір элементар сигналға келетін максималды ақпаратты анықтайық. Дереккөз p және $1 - p$ ықтималдығы бар x_1 және x_2 сигналдарын шығарсын.

$X:$	x_1	x_2
	p	$1 - p$

$H(X) = -p \log p - (1 - p) \log(1 - p)$ ақпарат көзінің энтропиясы.

Бір элементар сигналға келетін ақпарат: $I(X, Y) = H(Y) - H(Y/X)$.

$H(Y/X)$ табамыз. $H(Y/X) = pH(Y/x_1) + (1 - p)H(Y/x_2)$ екені белгілі.

$H(Y/x_1)$ есептейміз. x_1 сигналы жіберілді делік. Бұл жағдайда Y жүйесі y_1 күйінде (яғни x_1 сигналы алынады) және y_2 күйінде (яғни x_2 сигналы алынады) болғандағы шартты ықтималдықтарды табамыз.

$p(y_1/x_1) = 1 - \mu$ – ауыстырылмағандағы сигналдың ықтималдығы,

$p(y_2/x_1) = \mu$ – ауыстырылғандағы сигналдың ықтималдығы.

Демек, $H(Y/x_1) = -\sum_{i=1}^2 p(y_i/x_1) \log p(y_i/x_1) = -(1 - \mu) \log(1 - \mu) - \mu \log \mu$.

x_2 сигналы берілсін делік. $H(Y/x_2)$ есептейік.

$p(y_1/x_2) = \mu$ (сигнал шатастырылды), $p(y_2/x_2) = 1 - \mu$ (шатастырылған жоқ).

$H(Y/x_2) = -\mu \log \mu - (1 - \mu) \log(1 - \mu)$

Осыдан, $H(Y/x_1) = H(Y/x_2) = -\mu \log \mu - (1 - \mu) \log(1 - \mu)$.

$H(Y/X) = pH(Y/x_1) + (1 - p)H(Y/x_2) = H(Y/x_1)(1 - p + p) = H(Y/x_1)$

$H(Y/X) = -\mu \log \mu - (1 - \mu) \log(1 - \mu) = \eta(\mu) + \eta(1 - \mu)$

Шартты энтропия тек μ қателіктің ықтималдығына байланысты. Бір сигнал арқылы берілетін толық ақпаратты табыңыз: $I(Y/X) = H(Y) - H(Y/X)$.

Мысалға, x_1 таңбасының пайда болу ықтималдығы r болсын, яғни Y жүйесі y_1 күйінде болады.

$Y:$	y_1	y_2
	r	$1 - r$

$H(Y) = -r \log r - (1 - r) \log(1 - r) = \eta(r) + \eta(1 - r)$,

$I(Y/X) = H(Y) - H(Y/X) = (\eta(r) + \eta(1 - r)) - (\eta(\mu) + \eta(1 - \mu))$.

Ақпарат $I(Y, X)$ максимумға тең болады, егер $(\eta(r) + \eta(1 - r))$ өрнегі де максимум болса. Бұған $r = 1/2$ кезінде қол жеткізіледі, яғни қабылдағышта екі сигнал да бірдей ықтимал болған кезде.

Демек, $\max I(Y/X) = 1 - (\eta(\mu) + \eta(1 - \mu))$.

Бұл байланыс желісінің өткізу қабілеттілігін білдіреді:

$$C = L [1 - (\eta(\mu) + \eta(1 - \mu))].$$

Мысал 38. Уақыт бірлігіне қарай 70 рет 0 және 1 сигналдарды жіберетін кедергілі байланыс желісінің өткізу қабілеттілігін анықтаңыз, ал сигналдардың әрқайсысы 0,05 ықтималдығымен керісінше ауыстырылады.

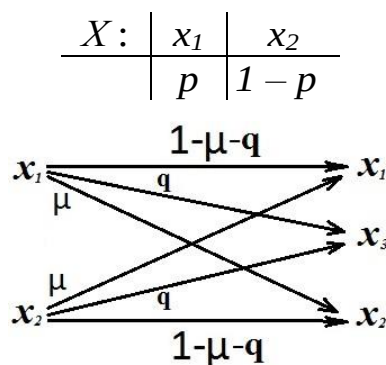
Шешімі. Уақыт бірлігінде $C = L(1 - (\eta(\mu) + \eta(1 - \mu))) = 70(1 - (0,2161) + 0,0703) = 49,952 \approx 50$ бит.

3. Байланыс желісі уақыт бірлігіне L сигналдарының санында екі x_1 және x_2 қарапайым сигналдарын жібере алады. Жіберу процесінде әр сигналды μ ықтималдықпен ауыстыруға болады қарама-қарсы немесе ол соншалықты бұрмаланған, сондықтан оны тану мүмкін емес. Бұл соңғы жағдайда біз жаңа x_3 сигналы қабылданды деп есептейміз (яғни сигнал өшірілді немесе шифрды шешуге мүмкіндік бермейді). Бұл жағдайда x_1 және x_2 сигналдарының екеуінің де өшіру ықтималдығы q . Мұндай сызық екілік симметриялы өшіру сызығы деп аталады. Осы байланыс желісінің өткізу қабілеттілігін табамыз.

Кедергі ықтималдығы кестесі:

$$\begin{pmatrix} 1 - \mu - q & \mu & q \\ \mu & 1 - \mu - q & q \end{pmatrix}$$

Байланыс желісі бере алатын бір элементар сигналға келетін максималды ақпаратты анықтайық. Ақпарат көзі ықтималдығы p және $1 - p$ болатын x_1 және x_2 сигналдарын шығарсын, сәйкесінше:



$H(X) = -p \log p - (1 - p) \log(1 - p)$ дереккөзінің энтропиясы.

Бір элементар сигналға сиятын ақпарат: $I(X, Y) = H(Y) - H(Y/X)$.

$H(Y/X)$ табамыз. $H(Y/X) = pH(Y/x_1) + (1-p)H(Y/x_2)$ екені белгілі.

$H(Y/x_1)$ есептейміз. x_1 сигналы жіберілді делік. Бұл жағдайда Y жүйесі y_1 күйінде (яғни x_1 сигналы алынды), y_2 күйінде (яғни x_2 сигналы алынды) және y_3 күйінде (яғни сигнал өшірілді немесе шифрын ашу мүмкін емес) болғандағы шартты ықтималдықтарды табамыз.

$p(y_1/x_1) = 1 - \mu - q$ — сигналдың бұрмаланбағандағы ықтималдығы,

$p(y_2/x_1) = \mu$ — сигналдың шатастырылу ықтималдығы.

$p(y_3/x_1) = q$ – сигналдың өшірілу ықтималдығы.

Демек, $H(Y/x_1) = - \sum_{i=1}^3 p(y_i/x_1) \log p(y_i/x_1) = - (1 - \mu - q) \log(1 - \mu - q) - \mu \log \mu - q \log q$.

x_2 сигналы берілсін делік. $H(Y/x_2)$ есептейік.

$p(y_1/x_2) = \mu$ (сигнал шатастырылды), $p(y_2/x_2) = 1 - \mu - q$ (сигнал бұрмаланбады), $p(y_3/x_2) = q$ (сигналдың өшірілуі).

$H(Y/x_2) = -(1 - \mu - q) \log(1 - \mu - q) - \mu \log \mu - q \log q$

Демек, $H(Y/x_1) = H(Y/x_2) = - (1 - \mu - q) \log(1 - \mu - q) - \mu \log \mu - q \log q$.

$H(Y/X) = pH(Y/x_1) + (1 - p)H(Y/x_2) = H(Y/x_1)(1 - p + p) = H(Y/x_1)$

$H(Y/X) = - (1 - \mu - q) \log(1 - \mu - q) - \mu \log \mu - q \log q = \eta(1 - \mu - q) + \eta(\mu) + \eta(q)$

Бір сигнал арқылы берілетін толық ақпаратты табамыз:

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

$r_1 - x_1$ сигналының шығу ықтималдығы болсын, яғни Y жүйесі y_1 күйінде болады; $r_2 - x_2$ сигналының шығу ықтималдығы. Сигналдың өшірілу ықтималдығы белгілі және q -ға тең.

$Y:$	y_1	y_2	y_3
	r_1	r_2	Q

$H(Y) = - r_1 \log r_1 - r_2 \log r_2 - q \log q = \eta(r_1) + \eta(r_2) + \eta(q)$, где $r_1 + r_2 + q = 1$

$I(Y/X) = H(Y) - H(Y/X) = [\eta(r_1) + \eta(r_2) + \eta(q)] - [\eta(1 - \mu - q) + \eta(\mu) + \eta(q)]$.

Ақпарат $I(Y, X)$ максимумға тең болады, егер $\eta(r_1) + \eta(r_2) + \eta(q)$ өрнегі де максималды болса. Бұған Y жүйесінің энтропиясы ең үлкен мәнге ие болған кезде қол жеткізіледі. Бұл жағдайда $p(x_1)$ және $p(x_2)$ кез-келген ықтималдықта өшіру ықтималдығы байланыс сызығын сипаттайтын q санына тең болады. Демек, q бекітілген, ал r_1 және r_2 сәйкесінше $p(x_1)$ және $p(x_2)$ тәуелді x_1 және x_2 сигналдар сызығының қабылдау ұшында пайда болуы мүмкін.

$H(r_1, r_2) = -r_1 \log r_1 - r_2 \log r_2 - q \log q$ функциясын қарастырайық. $r_1 + r_2 + q = 1$ жағдайында осы функцияның шартты экстремумын табамыз.

$H(r_1, r_2)$ функциясының шартты экстремумын табу үшін функцияның қарапайым экстремумын табу керек.

$F(r_1, r_2, \lambda) = -r_1 \log r_1 - r_2 \log r_2 - q \log q + \lambda(r_1 + r_2 + q - 1)$ (анықталмаған Лагранж көбейткіштерінің әдісі).

Экстремумның қажетті шарты:

$$\frac{\partial F}{\partial r_1} = 0, \frac{\partial F}{\partial r_2} = 0 \text{ және } \frac{\partial F}{\partial \lambda} = 0$$

$F(r_1, r_2, \lambda)$ функциясын дифференциалдаймыз және туындыны

нөлге теңестіреміз. Сонда:

$$\begin{cases} \log r_1 = \lambda - \log e \\ \log r_2 = \lambda - \log e \\ r_1 + r_2 = 1 - q \end{cases}$$

$$\text{Жүйенің шешімі: } r_1 = r_2 = \frac{1-q}{2}$$

$$\text{Экстремумның жеткілікті шарты: } d^2 L = -\frac{1}{r_1} dr_1^2 - \frac{1}{r_2} dr_2^2 < 0.$$

Яғни $H(r_1, r_2)$ функциясының $\left(\frac{1-q}{2}, \frac{1-q}{2}\right)$ нүктесінде шартты максимумы бар болып табылады.

Жүйенің максималды энтропиясы:

$$H_{\max}(Y) = -\frac{1-q}{2} \log \frac{1-q}{2} - \frac{1-q}{2} \log \frac{1-q}{2} - q \log q$$

$$\begin{aligned} \text{Демек, } \max I\left(\frac{Y}{X}\right) &= -(1-q) \log \frac{1-q}{2} - q \log q - [-(1-\mu-q) \log(1-\mu-q) - \mu \log \mu - q \log q] = \\ &= -(1-q)[\log(1-q) - \log 2] + (1-\mu-q) \log(1-\mu-q) + \mu \log \mu = (1-q)[1 - \log(1-q)] + \\ &+ (1-\mu-q) \log(1-\mu-q) + \mu \log \mu \end{aligned}$$

Соңында бізде:

$$\max I(Y/X) = (1-q)[1 - \log(1-q)] - \eta(1-\mu-q) - \eta(\mu).$$

Бұл дегеніміз, өшірілуге ие екілік симметриялы байланыс желісінің өткізу қабілеттілігі:

$$C = L [(1-q)[1 - \log(1-q)] - \eta(1-\mu-q) - \eta(\mu)].$$

Мысал 39. Уақыт бірлігіне 70 0 және 1 сигналдарды жіберетін кедергілермен байланыс желісінің өткізу қабілеттілігін анықтаңыз, олардың әрқайсысы сигналдардан 0,05 ықтималдығы бар қарама-қарсы сигналдар ауыстырылады, сонымен қатар сигнал беру процесінде сигналдар оларды тану мүмкін болмайтындай етіп бұрмалануы мүмкін. Бұрмалау ықтималдығы 0,07.

Шешімі.

$$\begin{aligned} C &= L [(1-q)[1 - \log(1-q)] - \eta(1-\mu-q) - \eta(\mu)] = \\ &= 70 [(1-0,07)[1 - \log(1-0,07)] - \eta(1-0,05-0,07) - \eta(0,05)] = \\ &= 45,42 \text{ уақыт бірлігіндегі бит} \end{aligned}$$

Шеннон теоремасы. X ақпарат көзі болсын, оның уақыт бірлігінде (X) және өткізу қабілеттілігімен байланыс желісі C . Содан кейін, Егер $H(X) > C$ болса, онда кез-келген кодтау кезінде хабарламаларды кідіріссіз және бұрмалаусыз беру мүмкін емес. Егер $H(X) < C$ болса, онда әрқашан жеткілікті ұзақ хабарламаны кодтауға болады, осылайша ол кідіріссіз және бұрмаланусыз, мүмкіндігінше бірлікке жақын болады.

Мысал 40. Уақыт бірлігінде $H(X) = 90$ бит энтропиясы бар ақпарат көзі және екі байланыс желісі бар, олардың әрқайсысы уақыт бірлігінде 55 0 немесе 1 екілік белгілерді жібере алады. Әрбір екілік белгі қарама-

қарсы белгімен ауыстырылады, ықтималдығы $\mu = 0.05$. Бұл байланыс желілерінің өткізу қабілеті кідіріссіз және бұрмаланбай ақпарат беру үшін жеткілікті ме?

Шешімі. $L = 55$. Бір байланыс желісінің өткізу қабілеті $C = 55(1 - (\eta(0, 05) + \eta(1 - 0, 05))) = 55(1 - 0, 2161 - 0, 0703) = 39, 248$ бит.

Себебі байланыс желілері екі, содан кейін берілуі мүмкін ақпараттың максималды мөлшері $2 \cdot 39, 248 = 78, 496$ бит.

Өйткені $78, 496 < 90$, мұндай байланыс желілерінің өткізу қабілеті ақпарат беруді қамтамасыз ету үшін жеткіліксіз болып табылады.

Практикалық тапсырмалар

1 апта

№1 практикалық жұмыс

АҚПАРАТТЫҚ ҮРДІСТЕР МЕН ЖҮЙЕЛЕРДІ СИПАТТАУ ӘДІСТЕРІМЕН ТАНЫСУ

Практикалық сабаққа арналған оқу-әдістемелік нұсқаулар №1

Сабақ мақсаты: Студенттердің жүйе түсінігі, ақпараттық жүйе, жүйелік талқылау, жүйе классификациясы мен құрамы, жүйелік анализ білімдерін тексеру

Сабақтан алған білімді тексеру тапсырмалары №1

1. АЖ түрлері
2. АЖ классификациясы
3. Ақпараттық жүйелерді ендіруден нені күтуге болады

2 апта

№2 практикалық жұмыс

АҚПАРАТТЫҚ ҮРДІСТЕР МЕН ЖҮЙЕЛЕРДІ СИПАТТАУ ӘДІСТЕРІМЕН ТАНЫСУ

2 Практикалық сабаққа арналған оқу-әдістемелік нұсқаулар №2

Сабақ мақсаты: Студенттердің жүйе түсінігі, ақпараттық жүйе, жүйелік талқылау, жүйе классификациясы мен құрамы, жүйелік анализ білімдерін тексеру

Сабақтан алған білімді тексеру тапсырмалары №2

1. АЖ процестерінің сипаттамалары
2. Жүйе компоненттері
3. Жүйелік анализ

3 апта

№3 практикалық жұмыс

АҚПАРАТТЫҚ ҮРДІСТЕР МЕН ЖҮЙЕЛЕРДІ СИПАТТАУ ӘДІСТЕРІМЕН ТАНЫСУ

Практикалық сабаққа арналған оқу-әдістемелік нұсқаулар №3

Сабақ мақсаты: Студенттердің жүйе түсінігі, ақпараттық жүйе, жүйелік талқылау, жүйе классификациясы мен құрамы, жүйелік анализ білімдерін тексеру

Сабақтан алған білімді тексеру тапсырмалары №3

1. Жүйелік анализ сатылары
2. Гэйн – Сарсон әдістемесі бойынша жүйелік анализ

4 апта

№4 практикалық жұмыс

АҚПАРАТТЫҚ ҮРДІСТЕР МЕН ЖҮЙЕЛЕРДІ АНАЛИЗДЕУ МЕН СИНТЕЗДЕУ ӘДІСТЕРІМЕН ТАНЫСУ, АҚПАРАТТЫҚ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛДАУ

Практикалық сабаққа арналған оқу-әдістемелік нұсқаулар №4

Сабақ мақсаты: Студенттердің ақпараттық жүйелерді анализдеу мен синтездеу әдістерін білетінін тексеру

Сабақтан алған білімді тексеру тапсырмалары №4

1. АЖ сипаттау әдістері
2. АЖ құрылымы
3. АЖ құрылымын анализдеу
4. АЖ құрылымының синтезі

5 апта

№5 практикалық жұмыс

АҚПАРАТТЫҚ ҮРДІСТЕР МЕН ЖҮЙЕЛЕРДІ АНАЛИЗДЕУ МЕН СИНТЕЗДЕУ ӘДІСТЕРІМЕН ТАНЫСУ, АҚПАРАТТЫҚ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДАУ

Практикалық сабаққа арналған оқу-әдістемелік нұсқаулар №5

Сабақ мақсаты: Студенттердің ақпараттық жүйелерді анализдеу мен синтездеу әдістерін білетінін тексеру

Сабақтан алған білімді тексеру тапсырмалары №5

1. АЖ ақпараттық қамтамасыз ету
2. АЖ техникалық қамтамасыз ету
3. АЖ математикалық қамтамасыз ету
4. АЖ программалық қамтамасыз ету

6 апта

№6 практикалық жұмыс

АҚПАРАТТЫҚ ҮРДІСТЕР МЕН ЖҮЙЕЛЕРДІ АНАЛИЗДЕУ МЕН СИНТЕЗДЕУ ӘДІСТЕРІМЕН ТАНЫСУ, АҚПАРАТТЫҚ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДАУ

Практикалық сабаққа арналған оқу-әдістемелік нұсқаулар №6

Сабақ мақсаты: Студенттердің ақпараттық жүйелерді анализдеу мен синтездеу әдістерін білетінін тексеру

Сабақтан алған білімді тексеру тапсырмалары №6

1. АЖ өндірістік қамтамасыз ету
2. АЖ құқықтық қамтамасыз ету
3. АЖ интеллектуалдау үрдісі

7 апта

№7 практикалық жұмыс

АҚПАРАТТЫҚ ҮРДІСТЕРДІ ЗЕРТТЕУДІҢ САПАЛЫ ЖӘНЕ САНДЫҚ ӘДІСТЕРІМЕН ТАНЫСУ

Практикалық сабаққа арналған оқу-әдістемелік нұсқаулар №7

Сабақ мақсаты: Студенттердің АЖ зерттеу әдістерін білуін тексеру

Сабақтан алған білімді тексеру тапсырмалары №7

1. АЖ сипаттаудың сапалық және сандық әдістері
2. АЖ кибернетикалық жағынан жақындау
3. АЖ динамикалық сипаттау

8 апта

№8 практикалық жұмыс

**АҚПАРАТТЫҚ ҮРДІСТЕРДІ ЗЕРТТЕУДІҢ САПАЛЫ ЖӘНЕ
САНДЫҚ ӘДІСТЕРІМЕН ТАНЫСУ**

Практикалық сабаққа арналған оқу-әдістемелік нұсқаулар №8

Сабақ мақсаты: Студенттердің АЖ зерттеу әдістерін білуін тексеру

Сабақтан алған білімді тексеру тапсырмалары №8

1. АЖ каноникалық түрде сипаттау.
2. АЖ агрегаттық сипатталуы

9 апта

№9 практикалық жұмыс

**АҚПАРАТТЫҚ ҮРДІСТЕРДІ ЗЕРТТЕУДІҢ САПАЛЫ ЖӘНЕ
САНДЫҚ ӘДІСТЕРІМЕН ТАНЫСУ**

Практикалық сабаққа арналған оқу-әдістемелік нұсқаулар №9

Сабақ мақсаты: Студенттердің АЖ зерттеу әдістерін білуін тексеру

Сабақтан алған білімді тексеру тапсырмалары №9

1. Кіріс пен шығыс операторлары
2. Агрегат кездейсоқ үрдіс ретінде

10- апта

№10 практикалық жұмыс

**ФИЗИКАЛЫҚ ДЕҢГЕЙДЕ АҚПАРАТТЫҚ ҮРДІСТЕРДІ
ҰЙЫМДАСТЫРУДЫ ОҚЫТУ**

Практикалық сабаққа арналған оқу-әдістемелік нұсқаулар №10

Сабақ мақсаты: Студенттердің физикалық деңгейде ақпараттық үрдістер түсінігін білуді тексеру

Сабақтан алған білімді тексеру тапсырмалары №10

1. Сигналдың математикалық моделдері
2. Дискреттеу
3. Котельников теоремасы
4. Кванттау
5. Ақпаратты өлшеу

11- апта

№11 практикалық жұмыс

**ФИЗИКАЛЫҚ ДЕҢГЕЙДЕ АҚПАРАТТЫҚ ҮРДІСТЕРДІ
ҰЙЫМДАСТЫРУДЫ ОҚЫТУ**

Практикалық сабаққа арналған оқу-әдістемелік нұсқаулар №11

Сабақ мақсаты: Студенттердің физикалық деңгейде ақпараттық үрдістер түсінігін білуді тексеру

Сабақтан алған білімді тексеру тапсырмалары №11

1. Модуляция, демодуляция
2. Модуляция түрлері
3. Модуляциялау түрлерінің сыртқы әсерге тұрақтылығы бойынша салыстырма мінездемелері
4. Модуляциялардың цифрлық әдістері
5. Сигналдар, сигнал түрлері

12- апта

№12 практикалық жұмыс

ФИЗИКАЛЫҚ ДЕҢГЕЙДЕ АҚПАРАТТЫҚ ҮРДІСТЕРДІ ҰЙЫМДАСТЫРУДЫ ОҚЫТУ

Практикалық сабаққа арналған оқу-әдістемелік нұсқаулар №12

Сабақ мақсаты: Студенттердің физикалық деңгейде ақпараттық үрдістер түсінігін білуді тексеру

Сабақтан алған білімді тексеру тапсырмалары №12

1. Модульденетін сигнал спектрінің ерекшеліктері
2. Байланыс арнасы
3. Байланыс арналарының өткізгіштік мүмкіндігі
4. Деректерді беретін торап
5. Байланыс тораптың өткізу мүмкіндігі

13- апта

№13 практикалық жұмыс

АҚПАРАТТЫҚ ҮРДІСТІ АРНА ДЕҢГЕЙІНДЕ ҰЙЫМДАСТЫРУДЫ ЗЕРТТЕУ

Практикалық сабаққа арналған оқу-әдістемелік нұсқаулар №13

Сабақ мақсаты: Студенттердің арна деңгейінде ақпараттық үрдістерді ұйымдастыру түсінігін білуін тексеру

Сабақтан алған білімді тексеру тапсырмалары №13

1. Код
2. Ақпаратты кодтау
3. Код негізі
4. Символдарды кодтау
5. Бөгетсіз арналар үшін кодтау туралы Шеннонның негізгі теоремасы
6. Бөгеттің бар болуы кезінде байланыс арналары бойынша сигналдардың берілуі туралы Шеннонның теоремасы
7. Аналогты-кодтық түрлендіргіштер
8. Тиімді кодтау
9. Шығынмен ақпараттарды қысу әдістері

10.Блокты, толқынды, фрактальды кодтау

14- апта

№14 практикалық жұмыс

АҚПАРАТТЫҚ ҮРДІСТІ АРНА ДЕҢГЕЙІНДЕ ҰЙЫМДАСТЫРУДЫ ЗЕРТТЕУ

Практикалық сабаққа арналған оқу-әдістемелік нұсқаулар №14

Сабақ мақсаты: Студенттердің арна деңгейінде ақпараттық үрдістерді ұйымдастыру түсінігін білуін тексеру

Сабақтан алған білімді тексеру тапсырмалары №14

1. Шығынсыз ақпараттарды қысу әдістері
2. Символ бойынша кодтау
3. Цептерді кодтау
4. Дыбыстық ақпаратты қысу әдістері
5. Криптографикалық кодтау
6. Криптографикалық кодтау әдістері
7. Бөгетке тұрақтылық кодтау

15- апта

№15 практикалық жұмыс

АҚПАРАТТЫҚ ҮРДІСТІ АРНА ДЕҢГЕЙІНДЕ ҰЙЫМДАСТЫРУДЫ ЗЕРТТЕУ

Практикалық сабаққа арналған оқу-әдістемелік нұсқаулар №15

Сабақ мақсаты: Студенттердің арна деңгейінде ақпараттық үрдістерді ұйымдастыру түсінігін білуін тексеру

Сабақтан алған білімді тексеру тапсырмалары №15

1. Сызықты топтық кодтар
2. Тривиальды жүйелік кодтар
3. Топтық кодтарға арналған кодтау және декодтаудың техникалық құралдары
4. Циклдық кодтар
5. Циклдық кодтарды техникалық жүзеге асыру

Білім алушылардың оқытушының көмегімен өзіндік жұмыстары

1. Ақпараттық теория есептеріндегі ықтималдықтар теориясы элементтері
2. Шеннонның ақпараттық өлшемі
3. Ақпаратпен байланысты негізгі ұғымдар
4. Энтропия мен артықтықты анықтау Шартты энтропия анықтау
5. Ақпараттарды каналдар бойынша беру
6. Хабарлама мен ақпарат көздерінің моделдері; сигналдар моделдері
7. Дискретті сигналдардың берілуі
8. Жалпы фильтрлеу құралы
9. Дискретті хабарлама көзінің тиімді кодтау әдісі
10. Периодты сигналдар спектрі
11. Хабарламаны кодтау негіздері. Шенно-Фано әдісі
12. Хабарламаны кодтау негіздері. Хаффман әдісі
13. Хабарламаны кодтау негіздері. Кедергіге төзімді кодтау
14. Сақтау құрылымы, құралдары және қол жетімділік әдістері
15. Ақпараттық жүйелердің заманауи бағыттары

Тест тапсырмалары

1-нұсқа

1 «Байланыс» ұғымын сипаттайтын белгілер:

- A) түр
- B) күй
- C) даму
- D) бағыт
- E) мақсат
- F) күш- қуат
- G) тепе-теңдік
- H) орнықтылық

2 Тектология:

- A) табиғат пен қоғамдағы басқару мен байланыстың жалпы заңдары туралы ғылым
- B) ақпараттардың қасиеттерін зерттейтін ғылым
- C) құрылыс туралы ілім
- D) жүйелер теориясы туралы ғылым
- E) құбылыстың жүйелілігі туралы ғылым
- F) ақпараттар теориясы туралы ғылым
- G) жалпыға ортақ ұйымдастыру ғылымы
- H) автоматтандыру туралы ғылым

3 Кибернетика:

- A) басқару өнері
- B) ақпараттардың қасиеттерін зерттейтін ғылым
- C) құрылыс туралы ілім
- D) күрделі жүйелердің өзін-өзін ұйымдастыруы туралы ғылым
- E) ақпаратты жинау, жеткізу, түрлендіру, басқару жайындағы ғылым
- F) ақпараттар теориясы туралы ғылым
- G) жалпыға ортақ ұйымдастыру ғылымы
- H) табиғат пен қоғамдағы басқару мен байланыстың жалпы заңдары туралы ғылым

4 Синергетика:

- A) басқару өнері
- B) біріккен әрекет
- C) құрылыс туралы ілім
- D) жалпыға ортақ ұйымдастыру ғылымы
- E) ақпаратты жинау, жеткізу, түрлендіру, басқару жайындағы ғылым
- F) тепе-тең емес ашық жүйелердегі кооперативтік құбылыстарды зерттейді
- G) күрделі жүйелердің өзін-өзін ұйымдастыруы туралы ғылым
- H) табиғат пен қоғамдағы басқару мен байланыстың жалпы заңдары туралы ғылым

5 Ақпараттық жүйе:

- A) ақпараттардың жиынтығы

- B) ақпаратты жинау, жеткізу, түрлендіру үрдісі
- C) бір-бірімен байланысқан және бір-біріне әсер ететін элементтер тобы
- D) Белгілі бір мақсаттарға жетуге бағытталған және функцияларды жүзеге асыратын ұйымдық қызмет
- E) күрделі жүйелерді талдау және синтездеу мақсатында алгоритмдерді, бағдарламаларды әзірлеу және компьютерде оларды қолдану
- F) элементтері, мақсаты, ресурстары, құрылымдары негізінде ақпараттық деңгейде қаралатын жүйе
- G) Компьютерлер, компьютерлік желілер, адамдар, аппараттық және бағдарламалық қамтамасыз ету
- H) қойылған мақсатқа жету үшін ақпараттарды сақтау, өңдеу және беруге пайдаланатын әдістер жиынтығы.

6 Ақпараттық жүйелер шешетін негізгі есептер:

- A) Ақпараттарды реттеу
- B) Операцияларды оңтайландыру мен зерттеу
- C) Бірдей құрылымдағы ақпараттарды сақтау
- D) Әртүрлі құрылымдардағы деректерді сақтау
- E) Ағымдағы ақпараттарды сақтау, өңдеу және іздеу
- F) Қоғамда жылжығыш ақпараттардың типтерінің ағындарын талдау
- G) Есептерді оған жету әдістерімен байланыстыратын материалдар құру
- H) Ұзақ жинақталатын, жоғалған орнын толтыруға келмейтін ақпараттарды іздеу, өңдеу және сақтау

7 Ұйымдасқандық дәрежесі бойынша ақпараттық жүйелердің түрлері:

- A) дәл ұйымдасқан
- B) «нашар» ұйымдасқан
- C) өздігінен ұйымдасқан
- D) детерминацияланған
- E) «жақсы» ұйымдасқан
- F) орташа ұйымдасқан
- G) күрделі ұйымдасқан
- H) «өте жақсы» ұйымдасқан

8 Күрделіліктері бойынша ақпараттық жүйелердің түрлері:

- A) кіші
- B) ашық
- C) супер
- D) үлкен
- E) шағын
- F) орташа
- G) жабық
- H) күрделі

9 Ақпараттың жіктелуі:

- A) мәтіндік

- В) үзіліссіз
- С) цифрлық
- Д) аналогтік
- Е) сигналдық
- Ғ) физикалық
- Г) символдық
- Н) дискреттік

10 Ақпарат қасиеттерінің аспектілері:

- А) аналогтік
- В) цифрлық
- С) сигналдық
- Д) физикалық
- Е) техникалық
- Ғ) семантикалық
- Г) математикалық
- Н) прагматикалық

11 Ақпараттың айналым кезеңдерін өсу ретімен орналастырыңыз:

- _А) ақпаратты өңдеу
- _В) ақпараттың әсері
- _С) ақпаратты көрсету
- _Д) ақпаратты дайындау
- _Е) ақпаратты қабылдау
- _Ғ) ақпаратты сақтау және беру

2-нұсқа

1 Ақпаратты өлшеу тәсілдері:

- А) алфавиттік
- В) мазмұндық
- С) техникалық
- Д) физикалық
- Е) ықтималдық
- Ғ) семантикалық
- Г) математикалық
- Н) прагматикалық

2 Энтропия түрлері:

- А) алфавиттік
- В) мазмұндық
- С) техникалық
- Д) физикалық
- Е) ақпараттық
- Ғ) ықтималдық
- Г) анықталмағандық
- Н) термодинамикалық

3 Энтропия қасиеті:

- A) оң
- B) дәл
- C) теріс
- D) анық
- E) нақты
- F) қайтымды
- G) қайтымсыз
- H) ықтималды

4 Ақпараттық арна үшін қолданылатын ұғымдар:

- A) ақпаратты енгізу жылдамдығы
- B) ақпаратты сақтау жылдамдығы
- C) ақпаратты беру жылдамдығы
- D) арнаның өткізу қабілеттілігі
- E) ақпаратты өңдеу уақыты
- F) ақпаратты беру уақыты
- G) ақпаратты беру жиілігі
- H) ақпаратты жою уақыты

5 Негізгі ақпараттық процестер:

- A) оқу
- B) жою
- C) жинау
- D) азайту
- E) сақтау
- F) қолдану
- G) көбейту
- H) молайту

6 Ортадағы ақпараттар айналымының сипаты бойынша:

- A) ашық ақпараттық орта
- B) жабық ақпараттық орта
- C) қосылған ақпараттық орта
- D) транзиттік ақпараттық орта
- E) бөлектенген ақпараттық орта
- F) ұйымдасқан ақпараттық орта
- G) біріктірілген ақпараттық орта
- H) алшақтанған ақпараттық орта

7 Мәліметтерді өңдеу жүйелерінің жіктелуі:

- A) еңбек өнімділігі бойынша
- B) қолданылу саласы бойынша
- C) автоматтандыру дәрежесі бойынша
- D) мәліметтерді сақтау көлемі бойынша
- E) мәліметтерді жіберу жиілігі бойынша
- F) мәліметтерді іздеу шапшаңдығы бойынша

- G) мәліметтерді өңдеу жылдамдығы бойынша
H) дербес мәліметтерді өңдеу сипаты бойынша
8 Синергетиканың негізгі ұғымдары:

- A) агрегат
B) аттрактор
C) энтропия
D) флуктация
E) модуляция
F) кибернетика
G) бифуркация

9 Барлық шығатын шешімдер тұрақты болатын бифуркация нүктесі:

- A) агрегат
B) аттрактор
C) энтропия
D) флуктация
E) модуляция
F) демодуляция
G) тұрақты фокус
H) тартылыс нүктесі

10 «Байланыс» ұғымын сипаттайтын белгілер:

- A) түр
B) күй
C) даму
D) бағыт
E) мақсат
F) күш- қуат
G) тепе-теңдік
H) орнықтылық

11 Жүйелерді абстрактілі сипаттаудың деңгейлерін өсу ретімен орналастырыңыз:

- _A) топологиялық
_B) символикалық
_C) теориялық -жиындық
_D) абстрактілі-алгебралық
_E) теориялық – ақпараттық
_F) логикалық –математикалық

1 Ұғымдардың арақатынасын сәйкестендіріңіз

Ұғымдар

- 1) Ақпараттық үдерістер
- 2) Ақпараттық технологияла

Анықтамалар

- A) Басқару моделі
- B) әдістер жиынтығы
- C) Объектінің ақпараттық моделі
- D) Мақсатты функциялардың ақпараттық моделі
- E) Жүйелердің ақпараттық моделі F) Элементтің ақпараттық моделі
- G) бағдарламалар жиынтығы
- H) үдерістер жиынтығы

2 Жүйелердің жіктелуін сәйкестендіріңіз:

- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| 1. нысандандырылған | A) жай |
| аппараттың түрі бойынша | B) ұйымдасқан |
| 2. мақсаткерлік типі бойынша | C) ашық |
| 3. құрылымдары мен тәртібінің | D) күрделі |
| күрделілігі бойынша | E) детерминацияланған |
| | F) жабық |
| | G) стохастикалық; |
| | H) өздігінен ұйымдасатын |

3 Жүйелерді мысалдарымен сәйкестендіріңіз:

Жүйелер

1. Жақсы ұйымдасқан жүйелер
2. Өздігінен ұйымдасатын жүйелер
3. Үлкен жүйелер

Мысалдары

- A) күн жүйесі
- B) биологиялық ұйымдар
- C) катодтық қорғанысты орнату
- D) жаппай қызмет көрсету жүйелерін сипаттау
- E) адамдардың ұжымдық тәртібі
- F) ақпараттық жүйе;
- G) жерасты сулары деңгейі бетінің картасы
- H) ірі аэродромда ұшуды басқару жүйесі

4 Терминдер қасиеттерімен сәйкестендіріңіз:

Терминдер

1. ақпарат
2. Энтропия

қасиеттері

- A) нақты
- B) жабық
- C) сандық
- D) толықтық
- E) анықтық
- F) бағалылық
- G) стохастикалық
- H) өздігінен ұйымдасатын

5 Терминдерді түрлерімен сәйкестендіріңіз:

Терминдер

1. модуляция
2. демодуляция

Түрлері

- A) сандық
- B) желілік
- C) фазалық
- D) шартты
- E) аналогтік
- F) импульстік
- G) дискреттік
- H) амплитудалық

6 Байланыс арналарында ақпараттар беруді өсу ретімен орналастырыңыз:

- _A) кодер
- _B) декодер
- _C) таратқыш
- _D) ақпарат көзі
- _E) қабылдағыш
- _F) ақпарат алушы
- _G байланыс арнасы

1 Сигналдардың жіктелуін сәйкестендіріңіз:

Сигналдар

1. Физикалық табиғаты бойынша
2. Берілу тәсілі бойынша

Түрлері

- A) электрлік
- B) оптикалық
- C) реттелген
- D) аналогтік
- E) дискреттік
- F) импульстік
- G) акустикалық
- H) реттелмеген

2 Терминдер түрлерімен сәйкестендіріңіз:

Терминдер

1. Кодтау
2. Хабарлама

түрлері

- A) топтық
- B) сандық
- C) дискретті
- D) матрицалық
- E) үздіксіз
- F) шуылдан қорғайтын

3 Терминдер түрлерімен сәйкестендіріңіз:

Терминдер

1. ақпарат
2. Энтропия

түрлері

- A) жабық
- B) шартты
- C) сандық
- D) аналогті
- E) дискретті
- F) салыстырмалы

4 Терминдерді енгізген ғалымдармен сәйкестендіріңіз:

Терминдер

1. ақпарат
2. Энтропия

Ғалым

- A) В. Гибс
- B) А. Ампер
- C) Н. Винер

- D) Р. Хартли
- E) К. Шеннон
- F) Р. Клаузиу

5 Жүйелердің жіктелуін сәйкестендіріңіз:

- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| 1. нысандандырылған | A) жай |
| аппараттың түрі бойынша | B) ұйымдасқан |
| 2. мақсаткерлік типі бойынша | C) ашық |
| 3. құрылымдары мен тәртібінің | D) күрделі |
| күрделілігі бойынша | E) детерминацияланған |
| | F) жабық |
| | G) стохастикалық; |
| | H) өздігінен ұйымдасатын |

6 Ақпараттық жүйелердің дамуы бойынша түрлерін кему ретімен орналастырыңыз:

- _A) шешім қабылдау жүйелері
- _B) стратегиялық ақпараттық жүйелер
- _C) электромеханикалық бухгалтерлік машиналар
- _D) өндірістік ақпараттар үшін басқарушылық ақпараттық жүйелер

Жауаптары:

1- нұсқа

1. A; D; F
2. C; E; G
3. A;E; H
4. B; F; G
5. F; G;H
6. D; F; H
7. B; C; E
8. C; E; H
9. B; D; H
- 10.E; F; H
- 11.1-E; 2-D; 3-F; 4-A;5- C; 6- B

2- нұсқа

1. A; B; E
2. E; G; H
3. A; E; F
4. A; C; D
5. C; E; F
6. A ;D; E
7. B ;C; H
8. B ;D; G
9. B ;G; H
- 10.A; D; F
- 11.1-B; 2-C;3-D; 4-A; 5- F; 6- E

3- нұсқа

1. 1- D; 2-E
2. 1- E,G; 2-C,F; 3- A,D
3. 1- A; 2-B,E; 3- F,H.
4. 1- E,G; 2-C,F; 3- A,D.
5. 1-E,G; 2-C,F; 3- A,D.
6. 1-D;2-A;3-C;4-G; 5- E;6- B; 7- F

4- нұсқа

1. 1- A,B, G; 2-C, H
2. 1- A,D,F; 2-C,E
3. 1- D,E; 2-B,F
4. 1- C; 2-F
5. 1- E,G; 2-C,F; 3- A,D.
6. 1-B; 2-A; 3-D; 4-C

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Чернавский Д.С. Синергетика и информация:Динамическая теория информации / Чернавский Д.С.— М.: ЛЕНАНД, 2017. – 304 с.
2. Еременко В.Т., Минаев В.А., Фисун А.П, Константинов И.С., Коськин А.В., Белевская Ю. А, Дворянкин СВ.. Рытов М.Ю., Теория информации и информационных процессов / Еременко В.Т. – Орел: Госуниверситет - УНПК. 2015. - 443 с.
3. Попов И.Ю., Блинова И.В. Теория информации: Учебное пособие/ Попов И.Ю.- – СПб: Университет ИТМО, 2022. – 160 с.
4. Аяжанов С.С. Ақпараттық жүйелер негіздері: оқулық / С.С.Аяжанов, Ш.Е.Омарова, Қ.С.Аяжанов. –А.: ЖШС РПБК «Дәуір», 2012. – 400 бет.
5. Чикрин Д.Е. Теория информации и кодирования: / Чикрин Д.Е. - Казань: Казанский университет, 2013. - 116 с.
6. Кудряшев Б.Д. Теория информации: учебник/ Кудряшев Б.Д.- СПб.: Питер, 2021. — 320 с.
7. Котенко В. В. Теория информации: учебное пособие/Котенко В. В. - Ростов-на-Дону: Таганрог, 2018. – 240 с.
8. Фомичев В.М. Элементы теории информации в защите информации: учебное пособие/ Фомичев В.М. – М: Прометей, 2021.- 219 с.
9. Яглом А.М., Яглом И.М. Вероятность и информация / Яглом А.М. – URSS, 2020. - 512 с.
- 10.Хохлов Г.И. Основы теории информации :(3-е изд.) учебник/ Хохлов Г.И.-Академия, 2018.- 368 с.
- 11.Шапцев В. А. Теоретические основы создания информационного общества: учебное пособие для вузов / Шапцев В. А. , Бидуля Ю. В. — Москва: Издательство Юрайт, 2018. — 177 с.
- 12.Осокин А.Н. Теория информации: Учебное пособие для прикладного бакалавриата / Осокин А.Н., Мальчуков А.Н - Люберцы: Юрайт, 2016. -205 с.
- 13.Ворошилов В.В. Теория и практика массовой информации (для бакалавров) / В.В. Ворошилов. - М.: КноРус, 2018. - 464 с.
- 14.Марков А.А. Теория и практика массовой информации: Уч. / Марков А.А., Молчанова О.И., Полякова Н.В. - М.: Инфра-М, 2018. - 104 с.
- 15.Ворожцов, А.В. Путь в современную информатику: Комбинаторика, анализ, теория графов, теория игр, моделированию, теория информации, логика и теория множеств / Ворожцов А.В. - М.: Ленанд, 2017. - 144 с.
- 16.Вороненко А.А. Основы кибернетики: учебное пособие/ Вороненко А.А.- М:ИНФРА-М, 2022.- 189 с.

Қосымша. $\eta(p) = -p \log p$ шамаларының кестесі

p	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,00	–	0,0100	0,0179	0,0251	0,0319	0,0382	0,0443	0,0501	0,0557	0,0612
0,01	0,0664	0,0716	0,0766	0,0815	0,0862	0,0909	0,0955	0,0999	0,1043	0,1086
0,02	0,1129	0,1170	0,1211	0,1252	0,1291	0,0330	0,1369	0,1407	0,1444	0,1481
0,03	0,1518	0,1554	0,1589	0,1624	0,1659	0,1693	0,1727	0,1760	0,1793	0,1825
0,04	0,1858	0,1889	0,1921	0,1952	0,1983	0,2013	0,2043	0,2073	0,2103	0,2132
0,05	0,2161	0,2190	0,2218	0,2246	0,2274	0,2301	0,2329	0,2356	0,2383	0,2409
0,06	0,2435	0,2461	0,2487	0,2513	0,2538	0,2563	0,2588	0,2613	0,2637	0,2661
0,07	0,2686	0,2709	0,2733	0,2756	0,2780	0,2803	0,2826	0,2848	0,2871	0,2893
0,08	0,2915	0,2937	0,2959	0,2980	0,3002	0,3023	0,3044	0,3065	0,3086	0,3106
0,09	0,3127	0,3147	0,3167	0,3187	0,3207	0,3226	0,3246	0,3265	0,3284	0,3303
0,10	0,3322	0,3341	0,3359	0,3378	0,3398	0,3414	0,3432	0,3450	0,3468	0,3485
0,11	0,3503	0,3520	0,3537	0,3555	0,3571	0,3588	0,3605	0,3622	0,3638	0,3654
0,12	0,3671	0,3687	0,3703	0,3719	0,3734	0,3750	0,3766	0,3781	0,3796	0,3811
0,13	0,3826	0,3841	0,3856	0,3871	0,3886	0,3900	0,3915	0,3929	0,3943	0,3957
0,14	0,3971	0,3985	0,3999	0,4012	0,4026	0,4040	0,4053	0,4066	0,4079	0,4092
0,15	0,4105	0,4118	0,4131	0,4144	0,4156	0,4169	0,4181	0,4194	0,4206	0,4218
0,16	0,4230	0,4242	0,4254	0,4266	0,4277	0,4289	0,4301	0,4312	0,4323	0,4335
0,17	0,4346	0,4357	0,4368	0,4379	0,4390	0,4400	0,4411	0,4422	0,4432	0,4443
0,18	0,4453	0,4463	0,4474	0,4484	0,4494	0,4504	0,4514	0,4523	0,4533	0,4543
0,19	0,4552	0,4562	0,4571	0,4581	0,4590	0,4599	0,4608	0,4617	0,4626	0,4635
0,20	0,4644	0,4653	0,4661	0,4670	0,4678	0,4687	0,4695	0,4704	0,4712	0,4720
0,21	0,4728	0,4736	0,4744	0,4752	0,4760	0,4768	0,4776	0,4783	0,4791	0,4798
0,22	0,4806	0,4813	0,4820	0,4828	0,4835	0,4842	0,4849	0,4856	0,4863	0,4870
0,23	0,4877	0,4883	0,4890	0,4897	0,4903	0,4010	0,4916	0,4923	0,4929	0,4935
0,24	0,4941	0,4947	0,4954	0,4960	0,4966	0,4971	0,4977	0,4983	0,4989	0,4994
0,25	0,5000	0,5006	0,5011	0,5016	0,5022	0,5027	0,5032	0,5038	0,5043	0,5048
0,26	0,5053	0,5058	0,5063	0,5068	0,5072	0,5077	0,5082	0,5087	0,5091	0,5096

Қосымшаның жалғасы. $\eta(p) = -p \log p$ шамаларының кестесі

p	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,27	0,5100	0,5105	0,5109	0,5113	0,5118	0,5122	0,5126	0,5130	0,5134	0,5138
0,28	0,5142	0,5146	0,5150	0,5154	0,5158	0,5161	0,5165	0,5169	0,5172	0,5176
0,29	0,5179	0,5182	0,5186	0,5189	0,5192	0,5196	0,5199	0,5202	0,5205	0,5208
0,30	0,5211	0,5214	0,5217	0,5220	0,5222	0,5225	0,5228	0,5230	0,5233	0,5235
0,31	0,5238	0,5240	0,5243	0,5245	0,5247	0,5250	0,5252	0,5254	0,5256	0,5258
0,32	0,5260	0,5262	0,5264	0,5266	0,5268	0,5270	0,5272	0,5273	0,5275	0,5277
0,33	0,5278	0,5280	0,5281	0,5283	0,5284	0,5286	0,5287	0,5288	0,5289	0,5290
0,34	0,5292	0,5293	0,5294	0,5295	0,5296	0,5297	0,5298	0,5299	0,5299	0,5300
0,35	0,5301	0,5302	0,5302	0,5303	0,5304	0,5304	0,5305	0,5305	0,5305	0,5306
0,36	0,5306	0,5306	0,5307	0,5307	0,5307	0,5307	0,5307	0,5307	0,5307	0,5307
0,37	0,5307	0,5307	0,5307	0,5307	0,5307	0,5306	0,5306	0,5306	0,5305	0,5305
0,38	0,5304	0,5304	0,5303	0,5303	0,5302	0,5302	0,5301	0,5300	0,5300	0,5299
0,39	0,5298	0,5297	0,5296	0,5295	0,5294	0,5293	0,5292	0,5291	0,5290	0,5289
0,40	0,5288	0,5286	0,5285	0,5284	0,5283	0,5281	0,5280	0,5278	0,5277	0,5275
0,41	0,5274	0,5272	0,5271	0,5269	0,5267	0,5266	0,5264	0,5262	0,5260	0,5258
0,42	0,5256	0,5255	0,5253	0,5251	0,5249	0,5246	0,5244	0,5242	0,5240	0,5238
0,43	0,5236	0,5233	0,5231	0,5229	0,5226	0,5224	0,5222	0,5219	0,5217	0,5214
0,44	0,5211	0,5209	0,5206	0,5204	0,5201	0,5198	0,5195	0,5193	0,5190	0,5187
0,45	0,5184	0,5181	0,5187	0,5175	0,5172	0,5169	0,5166	0,5163	0,5160	0,5157
0,46	0,5153	0,5150	0,5147	0,5144	0,5140	0,5137	0,5133	0,5130	0,5127	0,5123
0,47	0,5120	0,5116	0,5112	0,5109	0,5105	0,5102	0,5098	0,5094	0,5090	0,5087
0,48	0,5083	0,5079	0,5075	0,5071	0,5067	0,5063	0,5059	0,5055	0,5051	0,5047
0,49	0,5043	0,5039	0,5034	0,5030	0,5026	0,5022	0,5017	0,5013	0,5009	0,5004
0,50	0,5000	0,4996	0,4991	0,4987	0,4982	0,4978	0,4973	0,4968	0,4964	0,4959
0,51	0,4954	0,4950	0,4945	0,4940	0,4935	0,4930	0,4926	0,4921	0,4916	0,4911
0,52	0,4906	0,4901	0,4896	0,4891	0,4886	0,4880	0,4875	0,4870	0,4865	0,4860
0,53	0,4854	0,4849	0,4844	0,4839	0,4833	0,4828	0,4822	0,4817	0,4811	0,4806
0,54	0,4800	0,4795	0,4789	0,4784	0,4778	0,4772	0,4767	0,4761	0,4755	0,4750
0,55	0,4744	0,4738	0,4732	0,4726	0,4720	0,4714	0,4708	0,4702	0,4797	0,4691
0,56	0,4684	0,4678	0,4672	0,4666	0,4660	0,4654	0,4648	0,4641	0,4635	0,4629
0,57	0,4623	0,4616	0,4610	0,4603	0,4597	0,4591	0,4584	0,4578	0,4571	0,4565
0,58	0,4558	0,4551	0,4545	0,4538	0,4532	0,4525	0,4518	0,4512	0,4505	0,4498
0,59	0,4491	0,4484	0,4477	0,4471	0,4464	0,4457	0,4450	0,4443	0,4436	0,4429
0,60	0,4422	0,4415	0,4408	0,4401	0,4393	0,4386	0,4379	0,4372	0,4365	0,4357
0,61	0,4350	0,4343	0,4335	0,4328	0,4321	0,4313	0,4306	0,4298	0,4291	0,4383
0,62	0,4276	0,4268	0,4261	0,4253	0,4246	0,4238	0,4230	0,4223	0,4215	0,4207
0,63	0,4199	0,4192	0,4184	0,4176	0,4168	0,4160	0,4153	0,4145	0,4137	0,4129
0,64	0,4121	0,4113	0,4105	0,4097	0,4089	0,4080	0,4072	0,4064	0,4056	0,4048
0,65	0,4040	0,4032	0,4023	0,4015	0,4007	0,3998	0,3990	0,3982	0,3973	0,3965

p	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,66	0,3957	0,3948	0,3940	0,3931	0,3922	0,3914	0,3905	0,3897	0,3888	0,3880
0,67	0,3871	0,3862	0,3954	0,3845	0,3836	0,3828	0,3819	0,3810	0,3801	0,3792
0,68	0,3784	0,3775	0,3766	0,3757	0,3748	0,3739	0,3730	0,3721	0,3712	0,3703
0,69	0,3694	0,3685	0,3676	0,3666	0,3657	0,3648	0,3639	0,3630	0,3621	0,3611
0,70	0,3602	0,3593	0,3583	0,3574	0,3565	0,3555	0,3546	0,3536	0,3527	0,3518
0,71	0,3508	0,3499	0,3489	0,3480	0,3470	0,3461	0,3451	0,3441	0,3432	0,3422
0,72	0,3412	0,3403	0,3393	0,3383	0,3373	0,3364	0,3354	0,3344	0,3334	0,3324
0,73	0,3314	0,3304	0,3295	0,3285	0,3275	0,3265	0,3255	0,3245	0,3235	0,3225
0,74	0,3215	0,3204	0,3194	0,3184	0,3174	0,3164	0,3154	0,3144	0,3133	0,3123
0,75	0,3113	0,3103	0,3092	0,3082	0,3071	0,3061	0,3051	0,3040	0,3030	0,3019
0,76	0,3009	0,2999	0,2988	0,2978	0,2967	0,2956	0,2946	0,2935	0,2925	0,2914
0,77	0,2903	0,2893	0,2882	0,2871	0,2861	0,2850	0,2839	0,2828	0,2818	0,2807
0,78	0,2796	0,2785	0,2774	0,2763	0,2853	0,2741	0,2731	0,2720	0,2709	0,2698
0,79	0,2687	0,2676	0,2664	0,2653	0,2642	0,2631	0,2620	0,2609	0,2598	0,2587
0,80	0,2575	0,2564	0,2553	0,2542	0,2431	0,2519	0,2508	0,2497	0,2485	0,2474
0,81	0,2462	0,2451	0,2440	0,2428	0,2417	0,2405	0,2394	0,2382	0,2371	0,2359
0,82	0,2348	0,2336	0,2324	0,2313	0,2301	0,2290	0,2278	0,2268	0,2255	0,2243
0,83	0,2231	0,2220	0,2208	0,2196	0,2184	0,2172	0,2160	0,2149	0,2137	0,2125
0,84	0,2113	0,2101	0,2089	0,2077	0,2065	0,2053	0,2041	0,2029	0,2017	0,2005
0,85	0,1993	0,1981	0,1969	0,1957	0,1944	0,1932	0,1920	0,1908	0,1896	0,1884
0,86	0,1871	0,1859	0,1847	0,1834	0,1822	0,1810	0,1797	0,1785	0,1773	0,1760
0,87	0,1748	0,1735	0,1723	0,1711	0,1698	0,1686	0,1673	0,1661	0,1648	0,1635
0,88	0,1623	0,1610	0,1598	0,1585	0,1572	0,1560	0,1547	0,1534	0,1522	0,1509
0,89	0,1496	0,1484	0,1471	0,1458	0,1445	0,1432	0,1419	0,1407	0,1394	0,1381
0,90	0,1368	0,1355	0,1342	0,1329	0,1316	0,1303	0,1290	0,1277	0,1264	0,1251
0,91	0,1238	0,1225	0,1212	0,1199	0,1186	0,1173	0,1159	0,1146	0,1133	0,1120
0,92	0,1107	0,1094	0,1080	0,1067	0,1054	0,1040	0,1027	0,1014	0,1000	0,1987
0,93	0,0974	0,0960	0,0947	0,0933	0,0920	0,0907	0,0893	0,0880	0,0868	0,0853
0,94	0,0839	0,0826	0,0812	0,0798	0,0785	0,0771	0,0758	0,0744	0,0730	0,0717
0,95	0,0703	0,0689	0,0676	0,0662	0,0648	0,0634	0,0621	0,0607	0,0593	0,0579
0,96	0,0565	0,0552	0,0538	0,0524	0,0510	0,0496	0,0482	0,0468	0,0454	0,0440
0,97	0,0426	0,0412	0,0398	0,0384	0,0370	0,0356	0,0342	0,0328	0,0314	0,0300
0,98	0,0286	0,0271	0,0257	0,0243	0,0230	0,0214	0,0201	0,0186	0,0172	0,0158
0,99	0,0140	0,0129	0,0115	0,0101	0,0086	0,0072	0,0058	0,0043	0,0029	0,0014