УНИВЕРСИТЕТ ЗА НАЦИОНАЛНО И СВЕТОВНО СТОПАНСТВО

доц. д-р Христо Димитров Далкалъчев
доц. инж. Елка Илиева Неделчева

ТЕОРИЯ НА ИНФОРМАЦИЯТА И ПРЕНАСЯНЕ НА СЪОБЩЕНИЯ

УНИВЕРСИТЕТСКО ИЗДАТЕЛСТВО "СТОПАНСТВО"
София, 2006

Всички права са запазени! Не се разрешават копиране, възпроизвеждане и разпространение на книги или на части от тях по какъвто и да е начин без писменото разрешение УИ "Стопанство".

Издателството не носи отговорност за съдържанието и стила на изложение на авторите.

Авторите носят пълна отговорност за оригиналността на произведението, както и за грешки, допуснати по тяхна вина.

© Христо Димитров Далкалъчев
Елка Илиева Неделчева

© УНИВЕРСИТЕТСКО ИЗДАТЕЛСТВО "СТОПАНСТВО"

Директор: доц. д-р Йордан Близнаков, тел. 62-88-57, 62-52-679
Зам.-директор: Георги Алексиев, тел. 62-52-544
Гл. редактор: Ваня Миленкова, тел. 62-88-57, 62-52-359
Худ.-техн. редакция: Истилиян Божилов, тел. 62-52-517
Счетоводство: Лъчезар Лазаров, тел. 62-52-665

УНИВЕРСИТЕТ ЗА НАЦИОНАЛНО И СВЕТОВНО СТОПАНСТВО
София, Студентски град "Хр. Ботев"

Съдържание

Предмет на учебната дисциплина
Теория на информацията и пренасяне на съобщения 7

Първа глава
ЕЛЕМЕНТИ НА ОБЩАТА ТЕОРИЯ НА СИСТЕМИТЕ 11
1. Общата теория на системите
като теоретична основа на системните изследвания 11
1.1. Системността в човешката дейност и природата 11
1.2. Изграждане на обща теория на системите
като обобщаваща теория 12
1.3. Модели и моделиране 14
1.4. Роля на измерванията при създаване
на модели на системи 22
1.5. Системен подход, системни изследвания,
системен анализ 23
1.6. За решение на какви проблеми
се използва системният анализ? 23
1.7. В какви ситуации на икономическото управление
възниква необходимостта от системен анализ? 24
1.8. Етапи при решаване на проблем 25
2. Система. Свойства, състояние, поведение,
цел и план на системата 26
2.1. Система. Съставни части на системата 26
2.2. Свойства на системата 27
2.3. Състояние на системата 33
2.4. Поведение на системата 34
2.5. Видове системи 36
2.6. Системи с цел 37
2.7. План на системата 39
3. Връзки в системите. Предавателна функция
и предавателни коефициенти на системата.
Видове връзки 40
3.1. Предавателна функция
и предавателни коефициенти на системата 40
3.2. Видове връзки 42

4. Обратна връзка в системите.
Видове обратни връзки 45
4.1. Видове обратни връзки 46
4.2. Коефициент на предаване на система, обхванатата от обратна връзка 48
5. Регулиране в системите 51
6. Управление в системите. Вземане на решение 54
7. Познавателни задачи на системните изследвания в икономиката 58
7.1. Познавателни задачи на системните изследвания в икономиката 58
7.2. Методология на системното изследване 60
8. Методи в системните изследвания 60
8.1. Метод на мозъчна атака – brain storming 61
8.2. Метод на сценария 61
8.3. Методът на експертните оценки 62
8.4. Метод "Делфи" 63
8.5. Метод на дървото на целите – графичен метод 63
8.6. Морфологични методи – метод на морфологичния анализ 64
8.7. Синектика 65
8.8. Делови игри 66
8.9. Системата човек – машина и изборът 67

ВТОРА ГЛАВА

ЕЛЕМЕНТИ НА ТЕОРИЯ НА ИНФОРМАЦИЯТА 69
1. Трансформация в системите. Видове трансформации. Елементарни преходи 71
1.1. Детерминирана трансформация 72
1.2. Трансформация с неопределеност 73
1.3. Трансформация със стохастична неопределеност 73
1.4. Представяне на трансформациите 75
1.5. Видове трансформации 78
2. Ентропията като мярка за неопределеност при трансформациите с неопределеност 80
3. Ентропия на просто събитие. Единична мярка за ентропия. Свойства на ентропията 80
4. Ентропия на сложно събитие, съставено от две независими прости събития. 83

5. Условна ентропия 86
5.1. Ограничения при приложение на ентропията 91
6. Количество информация. Излишък на информационния източник 94
6.1. Количествено определяне на информацията 94
6.2. Свойства на информацията, произтичащи от нейното количествено определение 95
6.3. Излишък на информационния източник 99

ТРЕТА ГЛАВА

ЕЛЕМЕНТИ НА ТЕОРИЯТА НА ПРЕДАВАНЕ НА СЪОБЩЕНИЯ 103
1. Информация, съобщение, сигнал. Основна схема на предаване на съобщения 103
1.1. Основни понятия в теория на предаване на съобщения – информация, съобщение и сигнал 103
1.2. Основна схема на предаване на съобщения 106
2. Съобщителна система 110
3. Кодиране и модулация 113
3.1. Видове кодове 117
4. Импулсно-кодова модулация 129
4.1. Пропускателна способност на системите с импулсно-кодова модулация 131
5. Видове съобщителни канали. Пропускателна способност на дискретни и непрекъснати канали 132
5.1. Информационни параметри на съобщенията и сигналите 135
5.2. Основни характеристики на съобщителните канали 137
6. Телеграфен и телефонен сигнал 139
6.1. Същност и значение на телеграфните съобщения 139
6.2. Телеграфни кодове 141
6.3. Телеграфна модулация 144
6.4. Скорост на телеграфиране 146
6.5. Производителност на телеграфните апарати 147
6.6. Телефонен сигнал. Определяне честотната лента на телефонния сигнал 148
7. Системи за предаване на данни 150
7.1. Основни характеристики на предаване на данни 150

7.2. Структурна схема на система за предаване на данни (СПД) ... 153
7.3. Основни параметри на системите за предаване на данни ... 156
7.4. Видове канали за предаване на данни ... 159
7.5. Видове смущаващи фактори в съобщителните канали ... 160
8. Радиосигнал. Същност, честотен обхват. Обща схема за радиовръзка ... 161
8.1. Основни свойства на електромагнитните вълни ... 164
8.2. Разпространение на дългите, средните, късите и ултракъсите вълни ... 165
8.3. Общи сведения за модулацията ... 166
9. Телевизионни сигнали. Същност, честотен обхват. Особености на зрителното възприятие. Обща схема за телевизия ... 168
9.1. Възприемане на цветовете ... 169
9.2. Параметри на телевизионния сигнал ... 174
9.3. Предаване и приемане на цветни изображения ... 175

Литература ... 1

ПРЕДМЕТ НА УЧЕБНАТА ДИСЦИПЛИНА ТЕОРИЯ НА ИНФОРМАЦИЯТА И ПРЕНАСЯНЕ НА СЪОБЩЕНИЯ

Потребността от общуване, т.е. предаване и обмен на информация, възниква и се развива едновременно с развитието на човешкото общество.

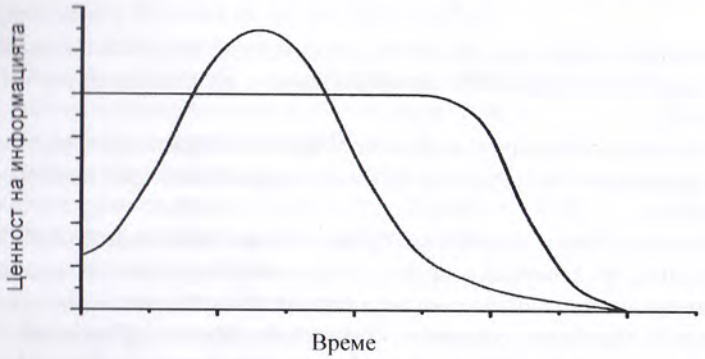
Информацията представлява сведения, които са обект на предаване, разпределение, преобразуване, съхранение или непосредствено използване.

Информацията добива особено голямо значение във века на революцията в комуникациите, информационните технологии, автоматизацията и специализацията на производството, управлението и творческата дейност. Нейният обем се удвоява за 5 – 10 години, а в нови отрасли на науката и техниката – например в космонавтиката – за 3 години. Косвено отношение към нарастване на обема на информацията има и фактът, че компютърната мощ се увеличава 2 пъти на всеки 18 месеца. Ръстът на обема информация води до повишаване на изискванията за доставката ѝ и оттам до развитие на средствата за тази цел. Ползват и обменят информация не само хората, но и машини (компютри, електронни управляващи машини). Увеличава се броят на хората, занимаващи се със събиране, обработка и доставка на информация. Нови системи за предаване, разпределение и обработка на информация се изграждат на базата на микроелектрониката, цифровата техника, оптичните влакна и др. Обединението между компютри и телекомуникации позволява по нов начин да се реализира управлението на различни равнища – от отделни технологични процеси и предприятия до цели отрасли в стопанството, банковото дело, изследователската дейност.

Предаването на информация от източника към потребителя се извършва:

- непосредствено – чрез личен контакт, лекции и др.;
- с използване на механичен транспорт – куриерски услуги, поща, търговия с книги и др.;
- чрез далекосъобщения.

Информацията е стока. Ценна е, но остарява и губи от стойността си. На фигура 0.1 са показани два възможни варианта за изменение на ценността на информацията във функция от времето, което се изразява в секунди или в части от секундата, часове, дни, месеци или години в зависимост от вида на информацията.



Фиг. 0.1. Ценност на информацията във функция от времето

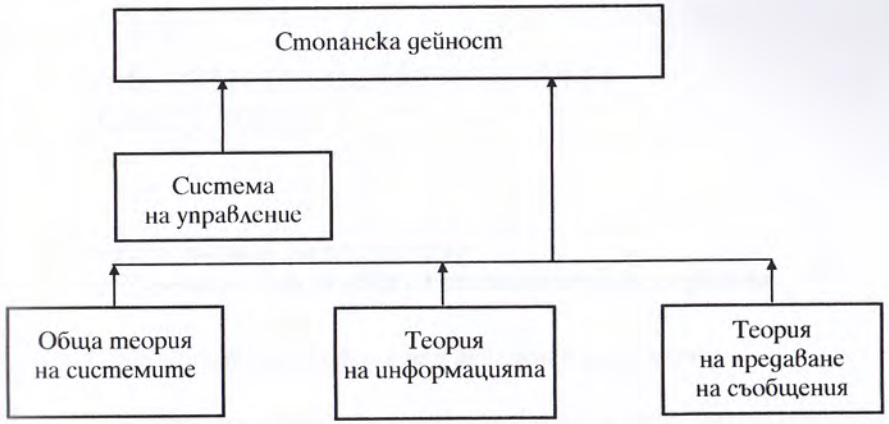
Учебната дисциплина Теория на информацията и пренасяне на съобщения е пряко свързана с дейността по осигуряване на съобщителните услуги, т.е. на доставката на информация.

Дисциплината се занимава с три групи въпроси, обхванати от следните теории (фиг. 0.2):

- обща теория на системите;
- теория на информацията;
- теория на предаване на съобщения (информация).

И трите групи въпроси имат отношение към стопанската дейност, свързана с услугите, а именно: произвеждане на услугите, предоставянето и продаването им на потребителя.

Първите две групи дават поглед за начина на изграждане на системите за управление. Третата е свързана с процеса на предаване на съобщенията. И трите групи въпроси са свързани със системата за управление на стопанската дейност, която се изучава в самостоятелна дисциплина.



Фиг. 0.2. Предмет на учебната дисциплина

Знанията и уменията по дисциплината Теория на информацията и пренасяне на съобщения са необходими за изучаване на дисциплината Мрежи и системи в съобщенията и подготовката на студентите като специалисти по управление и контрол в областта на телекомуникациите, радио- и телевизионното разпръскване.

Първа глава

ЕЛЕМЕНТИ НА ОБЩАТА ТЕОРИЯ НА СИСТЕМИТЕ

1. Общата теория на системите като теоретична основа на системните изследвания

1.1. Системността в човешката дейност и природата

В обществото системните представи са достигнали до такова ниво, че мисълта за полезност и важност на системния подход при решаването на проблеми от практиката излиза извън рамките на специалните научни истини и става общоприета привична истина.

Не само учените, но и инженери, педагози, организатори на производство, дейци на културата откриват в дейността си системност и се стараят да работят осъзнато системно.

Появата на проблеми в човешката дейност представлява сигнал за недостатъчна системност при извършването ѝ. Прилагането на системен подход на по-високо ниво представлява стъпка за решаване на възникналия проблем.

Системността представлява не толкова състояние, тя по-скоро е процес.

Системи съществуват навсякъде около нас. Примери за това са: слънчева система, обществено-политическа система, телекомуникационна система, система уравнения, нервна система, система от параметри, система от възгледи и убеждения и др. Общото, което ги обединява, е системността.

Ролята на системните представи в практиката е чрез тях да се покаже, че системите са структурирани, че има взаимна връзка между частите им, че цялата система е подчинена на определена цел.

Друго название на системността е алгоритмичността. Първоначално понятието алгоритъм възниква в математиката. Алгоритъмът представлява задаване на точно определена последователност на еднозначно определени действия над числа и други математически обекти.

Все по-често хората проявяват осъзната алгоритмичност при извършване на всякакъв вид дейност, а именно: при вземане на управленски решения, при обучение, при игра на шах, дори при създаване на изобретения и при композиране на музика.

Осъзната или не, всяка дейност е алгоритмична. Неосъзнатата алгоритмичност не дава възможност да се повтори определено положително действие. Естествено спонтанното нарастване на системността се допълва от осъзнаване на тази системност, която после съзнателно се повишава. Алгоритмизацията на всеки вид дейност е важна крачка за повишаване на системността.

Едни от най-важните причини за развитие на системните представи са:

- системността на практическата дейност на човека и
- вътрешната системност на човешкото мислене.

Системността обаче не е специфично свойство на човека, не е своего рода приспособяване, изработено от него за облекчаване и за опростяване на дейността му в околната среда. Системни са не само човешката практика и мислене, но и самата природа, цялата вселена. Системността е толкова присъщо и основно свойство на материята, че може да бъде наречено форма на съществуване на материята.

1.2. Изграждане на обща теория на системите като обобщаваща теория

Идеята за изграждане на теория, приложима към системи от всякакъв вид, е била изложена в средата на XX в. от австрийския биолог – теоретик Лудвиг фон Берталанфи (1901 – 1972 г). Той вижда един от начините за осъществяване на тази идея в търсенето на структурно сходство на законите, установени в различни научни дисциплини, като след обобщаването им се изведат общосистемни закономерности.

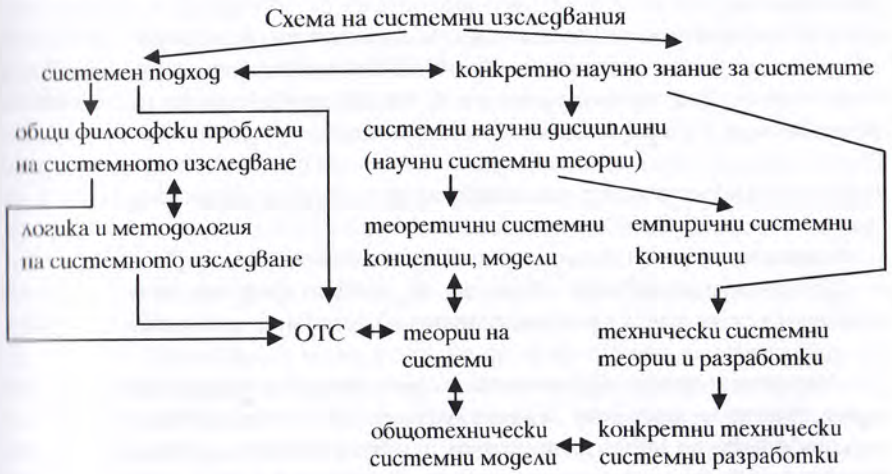
Основно понятие на общата теория на системите (ОТС) е понятието система. Най-важното постижение на Берталанфи е въвеждането на понятието отворена система. За разлика от подхода на Норберт Винер (създателя на кибернетиката), при който се изучават вътрешносистемните връзки, а функционирането на системите се разглежда просто като отклик на външни въздействия, Берталанфи подчертава особеното значение на обмена между система и околна среда на вещество, енергия и информация (наричана също негентропия). В отворената система се установява динамично равновесие, което може да бъде насочено към усложняване на организацията на системата и функционирането ѝ е не просто отклик на изменението на външните условия, а съхранение на старото или установяване на ново подвижно вътрешно равновесие на системата.

Ценността на общата теория на системите се състои не толкова в нейното математическо оформление, колкото в разработване на целите и задачите на системните изследвания, развитие на методология за анализа на системи, установяване на общосистемни закономерности.

Нарастването на системността в знанията е естествен процес, настъпващ стихийно във всички области на човешката дейност. Осъзнаването на системността на нашето познание и на околния свят повишава степента на системност на знанията. Този процес се развива бавно и трудно, не по права линия, а в резултат на много търсене. Това не е безцелно хаотично блуждаене, а процес на търсене на истината, процес дълъг, противоречив, реализиращ се чрез разработки на много различни допълващи се направления на системните изследвания.

Пример за нарастване на системността в знанията е съставянето на таблицата на химическите елементи от Менделеев.

Системните изследвания могат да бъдат представени нагледно със следната схема (фиг. 1.1):



Фиг. 1.1. Схема на системните изследвания

1.3. Модели и моделиране

Мощен познавателен инструмент, използван от ОТС, са моделите и свързаното с тях моделиране. То представлява построяване, използване и усъвършенстване на моделите. Осъзнаването на обективната системност на всеки вид дейност се извършва с голямо закъснение, при по-късни етапи на стихийно повишаване на системността. Аналогично е и положението с моделирането.

Всеки процес, всяко действие имат цел, а моделирането е неотменен етап на всяка целенасочена дейност.

Първоначално моделът се определя като спомагателно средство, обект, който в определена ситуация заменя друг обект. При това все още не са били осъзнати универсалността на природните закони, универсалността на моделирането, т.е. това, че моделирането е не просто възможност, а необходимост да се представят знанията ни чрез модели.

Древните философи са считали, че е невъзможно да се моделират естествените процеси, тъй като естествените и изкуствените процеси се подчиняват на различни закономерности. Те са считали, че природата може да се изобрази само с помощта на логиката, с методите на разсъждения, спорове. След няколко столетия Английското кралско научно дружество, приело девиза "Нищо с думи", признава само заключения, подкрепени с математически изводи или експерименти.

В резултат на дейността на математици, философи, логици се създава теория на моделите. През XX век понятието модел обхваща вече и реални, и идеални обекти. Отначало в сферата на научните направления – информационно, кибернетично и системно, а след това и в други области на науката моделът се осъзнава като нещо универсално, макар и да се реализира по различни начини. Моделът е начин на съществуване на знанието.

Казахме, че човешката дейност е целенасочена.

Целта представлява образ на желаното бъдеще, т.е. модел на желано състояние, за реализирането на което се извършва определена дейност.

Алгоритъмът на дейността също е модел на дейността, която предстои да се извърши. Като правило човешката дейност рядко се осъществява по твърда програма, без да се взема под внимание това, което става на междинните етапи. Най-често се налага да се оцени

резултатът от предходните дейности и да се избере следващата стъпка от набор от възможности. Това се извършва най-лесно, като следващите варианти се "проиграват" чрез модел.

Страните, които участват при моделирането, са:

- субект – инициатор на моделирането и/или ползвател на резултата му;
- обект – оригинал – предмет на моделиране;
- модел – изображение на обекта;
- околна среда – средата, в която се намират и взаимодействат всички останали "участници".

Оттук следва друга дефиниция на модел, а именно – системно изображение на оригинала.

1.3.1. Видове модели

За един и същ обект в зависимост от поставената от изследователя цел се създават множество модели. В зависимост от признака, по който се класифицират моделите, те биват няколко типа.

Познавателни и прагматични модели – тази класификация съответства на разделяне на целите на теоретични и практически.

Познавателните модели са форма на организация и представяне на знанията, средство за съединяване на нови знания със съществуващите. Характеризират се с това, че при откриване на разлика между модела и действителността се изменя моделът.

Пример за познавателен модел е моделът на слънчевата система – първоначално геоцентричен, а впоследствие променен на хелиоцентричен.

Прагматичните модели представляват средство за управление, средство за организация на практическата дейност, начин на представяне на образцово правилни действия или техния резултат, т.е. те са работно представяне на целите. Прагматичните модели имат нормативен характер, играят ролята на стандарт, образец и действителността се мени така, че да се приближи до модела.

Примери за прагматични модели са: планове, програми за работа, устави на организации, закони, алгоритми, работни чертежи, параметри за подбор, технологични допуски, изисквания при изпити и др.

Основната разлика между познавателни и прагматични модели е, че познавателните модели отразяват съществуващото, а прагма-

тичните модели – несъществуващото, но желано и осъществимо (т.е. възможно).

Деленето на познавателни и прагматични модели не бива да се абсолютизира. Например възникват проблеми с определяне типа на модела на произведения на изкуството, моделите в медицината, детски играчки, карти на местности и др. От друга страна, прагматичните модели също се изменят, развиват, както и познавателните, така че понякога разликата между тях се размива и изчезва.

Статични и динамични модели

Статичните модели отразяват конкретно състояние на обекта, представляват негова "моментна снимка". Пример за такива модели са структурни модели на системи.

Динамичните модели изобразяват процеса на изменение на състоянията. Пример за такива модели са функционални модели на системи.

Абстрактни и материални модели

По начина на изграждането им моделите биват абстрактни и материални.

Абстрактните модели представляват идеални конструкции, построени мисловно, чрез съзнанието.

Особено място сред абстрактните модели заемат езиковите модели. Нееднозначността, неопределеността на естествения език, която в много случаи е полезна, може да се превърне в пречка в някои практически случаи. Тогава се създават по-точни (професионални) езици за различните науки, цяла йерархия езици, чийто завършек е идеално формализираният език на математиката. За изразяване на обекти с математически модели са необходими достатъчно количество знания.

Видове подобия между модела и оригинала

Материалните модели са реални, веществени. За да може една конструкция да бъде отражение на оригинала, т.е. да го замества в известно отношение, между оригинала и модела трябва да бъде установено сходство, подобие. Примери за материални модели са: снимки, макети на самолети, здания, кукли, шаблони и др.

Изброените примери илюстрират **пряко подобие** между модела и оригинала. Но и то може да бъде само далечно сходство. ***Например***:

изпитване на хидротехническите качества на кораб посредством умален модел. При това някои условия могат да се мащабират – например скоростта на течението, но други – плътността на водата, силите на привличане, определящи свойствата на вълните, не могат да се мащабират. Затова задачата за преизчисляване на данните от експериментиране на модела за реални условия не е тривиална. Тя е предмет на теория на подобието.

Друг тип подобие е **косвеното подобие**. Най-известен пример е електромеханичната аналогия. Оказало се е, че някои закономерности на електрическите и механичните процеси се описват с еднакви уравнения. Разликата е във физическата интерпретация на променливите, участващи в тези уравнения. В резултат на това механичната конструкция може да се замени с електрическа.

Значението на модели, имащи косвено подобие с оригинала, е много голямо. Примери за такова подобие са: часовникът – аналог на времето; опитните животни в медицината – аналог на човешкия организъм; автопилотът – аналог на летеца; електрическият ток в подходящи схеми може да моделира както транспортните потоци на информация в съобщителните мрежи, така и водния поток в градската водопроводна мрежа; аналоговите електронноизчислителни машини позволяват да се намери решение на почти всяко диференциално уравнение.

Трети тип подобие е **условното подобие**. То се установява в резултат на споразумение. Например: парите са модел на стойността; удостоверението за самоличност е официален модел на притежателя му; всички видове сигнали са модел на съобщение; работните чертежи са модел на бъдеща продукция; картата е модел на местността и др.

Моделите с условно подобие се използват често. Те представляват начин за веществено изобразяване на абстрактни модели, при което могат да се предават между хората, да се съхраняват до момента на използването им, т.е. да се отделят от съзнанието и все пак да запазят възможността да се върнат в абстрактна форма. Това се постига чрез споразумение кое състояние на реалния обект се поставя в съответствие на даден елемент на абстрактния модел. Това споразумение представлява съвкупност от правила за построяване на моделите с условно подобие и правилата за ползването им.

Моделите с условно подобие се изучават и използват в теория на връзките (теория на пренасяне на сигнали), в теория на информацията, в радиотехниката, в теория на управлението и редица други науки. Там моделите на условно подобие се използват в технически устройства, работещи без участието на човек. Тези модели на условно подобие се наричат сигнали. Правилата за създаване и начините на използване на сигналите се наричат код, кодиране, декодиране.

В известен смисъл междинно, посредническо положение имат реални модели с абстрактно съдържание, наречени знакови модели. Те са предмет на науката семиотика.

1.3.2. Условия за реализация свойствата на моделите

За да отговаря един модел на предназначението си, е необходимо да съществуват условия, осигуряващи функционирането му. Например парите са модел на стойността, докато в средата, в която се извършва обръщението им, съществуват правни норми и финансови учреждения, които поддържат функционирането им. Например пари от Царство България не са приложими в момента. Друг пример – машинен модел на алгоритъм за компютър. И най-малкото разсъгласуване с езика на компютъра напълно обезценява модела.

Следователно, за да реализира функциите си, моделът трябва да е съгласуван с околната среда, в която му предстои да функционира, да влиза в тази среда не като чужд елемент, а като негова естествена част.

1.3.3. Съответствие между модела и действителността

А. **Различия**

Светът е безкраен, както и всеки обект, не само в пространството и времето, но и във взаимната връзка с други обекти.

А1. *Моделът е краен* – от необозримото множество свойства на обекта – модел, се избират и използват само някои свойства, подобни на интересуващите ни свойства на обекта – оригинал, т.е. моделът изобразява оригинала само в краен брой отношения. Например: особено нагледни са знаковите модели – цвете на прозореца на квартира за конспиративни срещи при провал на срещата. В случая има значение само дали цветето е там, или го няма. В случая то не представлява интерес от ботаническа, естетическа или друга гледна точка.

Факторите за това, че моделът е краен, са:

- *Моделът е опростен* – отразява само главните, най-съществените характеристики на обекта.

Примери от физиката: идеален газ, непоглъщащо стъкло, абсолютно черно тяло, математическо махало, пружина без маса, кондензатор без утечка, абсолютно твърдо тяло и др. (Може да се предположи, че простотата на правилните модели отразява някакво дълбоко свойство на природата и именно това е имал предвид Нютон, казвайки, че природата е проста и няма излишък на причини за нещата, както и схващането на древните схоластици, които са отбелязали евристично, че простотата е печат на истината.)

Причините, които обуславят опростеността на модела, са: това, че моделът е краен; че отразява само главните, най-съществените ефекти; че средствата за оперииране с модела са ограничени.

Опростеността характеризира качествените разлики между модела и оригинала.

- *Моделът е приблизителен.*

Приближението може да е много добро – например дубликати на картини, холограми на предмети, двойник на човек и др.

Приближението може да е по-малко – например карти на местност в различен мащаб (единствена съвършена карта на една страна е самата страна).

Степента на приближение се определя от целта на модела – например точността на обикновен ръчен часовник е достатъчна за битови цели, но е съвършено недостатъчна за регистрация на спортни рекорди, за целите на астрономията, за физически експерименти, за управление и контрол на технологични процеси.

А2. *Моделът е адекватен на дадена цел*, ако с него се постига успешно поставената цел, но понятието адекватност не съвпада напълно с изискванията за пълнота, точност и правилност (истинност).

Например геоцентричният модел на Птоломей е бил неправилен, но адекватен в смисъл на точно описание на движението на планетите.

Б. Сходства

Реалните модели служат за заместители на оригинала поради подобието си с него. Възможни са три вида подобия:

- пряко – установява се чрез физическо взаимодействие;
- косвено – установява се чрез аналогия, т.е. чрез общ абстрактен модел;
- условно – установява се чрез споразумение.

Във всеки модел има частична истина, т.е. в нещо моделът правилно отразява оригинала. Степента на истинност на модела се проявява, когато на практика се установи съотношение между модела и оригинала ("практиката е критерий за истинност"). Освен безусловно истинно в модела има и условно истинно, т.е. вярно само при определени условия, и нещо "невярно", т.е. нещо, което няма отношение към оригинала, наречено истинно по предположение (т.е. условно истинно при неизвестни условия). При това при определени конкретни условия е неизвестно точно какво е фактическото съотношение на истинното и лъжливото в даден модел. Отговор на този въпрос дава само практиката. Обаче във всеки случай моделът е принципно по-беден от оригинала. Това е негово фундаментално свойство.

Заключение

- разликата между модел и оригинал се дължи на това, че можем да изобразяваме реалността само с краен брой отношения, с крайни средства;
- в резултат на опростяването и приблизителността моделите са необходими и неизбежни;
- но забележителното свойство на света и на нас самите е в това, че това е достатъчно за човешката практика.

1.3.4. Динамика и естествена еволюция на моделите. Сложност на алгоритмизацията на моделите

- Както всичко в реалния свят, моделите също претърпяват изменения, изминават свой "жизнен цикъл".

Например при конструирането на нова техническа система найнапред се извършва научноизследователска работа, в резултат на която се създава техническо задание, последвано от технически проект, опитен образец и серийно производство.

- За ползването на готови модели обикновено не е нужно да се познава историята им, но за разработващите ги е полезно да познават закономерностите при развитие на моделите; историята на модела зависи от компромиса, избран между противоречиви критерии за простота, точност и т.н.
- При построяване на моделите решаваща роля играят неформалните евристични способности на човешкия интелект.
- Съществува еволюционен път на развитие на моделите, при което приносът на отделни личности е малък, но в крайна сметка води до прогрес на моделите.
- Неформалността на основните етапи на построяване на модели, превръщаща тази дейност в изкуство, не означава, че към нея нямат отношение науката въобще и алгоритмизацията в частност, че не могат да бъдат дадени никакви полезни и конкретни препоръки, повишаващи ефективността на моделирането.
- Науката за моделиране се състои в разделяне процеса на моделиране на етапи, детайлно изучаване на всеки етап и описанието му с максимално възможна степен на формализация, разглеждане и оценка на варианти.
- Изобщо моделирането представлява неразделно съчетание, единство на наука и изкуство.

1.3.5. Модел на "черната кутия"

Често използван модел в системния анализ е моделът на "черната кутия". Този модел представлява непрозрачна кутия, отделена от околната среда. Той отразява две важни свойства на системата: цялостност и обособеност от средата. Връзката с околната среда се осъществява посредством входове и изходи. Моделът е "черна кутия", защото това, което се получава на изхода, се разглежда като следствие на подаденото на входа, без да се вземат под внимание процесите, които протичат в нея. Простотата на модела "черна кутия" е измамна. Винаги съществува опасност от непълноти при съставяне на множеството от входове и изходи, тъй като е възможно важни входове и изходи да бъдат оценени като несъществени, а други да бъдат пропуснати, защото не са били известни в момента на построяване на модела.

Например – създаване на модел на ръчен часовник. Можем да определим като изходи: да показва времето в произволен момент; удобство за носене на ръката – хигиенни изисквания за каишката; прахонепроницаемост; здравина; точност (например за битови цели); лесно отчитане на показанието; цена; модни изисквания; нощно отчитане на времето; размери; тегло и т.н.

1.4. Роля на измерванията при създаване на модели на системи

Отношението между експеримента и модела напомня отношението между кокошката и яйцето (т.е. кое е първичното). За да се уточни моделът на един обект, се провежда експеримент, като опитната постановка се определя от модела, наличен преди опита. Това изцяло се отнася и за експерименталното изследване на системите.

Отношението между експеримента и теоретичния модел е двояко. От една страна, експериментът позволява да се провери и при необходимост да се уточни моделът, т.е. експериментът се явява източник на информация за моделирането. От друга страна, моделът диктува какъв именно експеримент трябва да се проведе, т.е. моделът е източник на информация за организация на експеримента.

Пример: Първоначално е бил приет геоцентричен модел на слънчевата система, който в резултат на изследванията, проведени от много учени, е бил коригиран и е създаден хелиоцентричен модел.

Съвременното разбиране за измерване е по-широко от класическото, което предвиждаше само количествени и еднозначни измервания: 1) измерванията могат да носят и качествен (а не само количествен) характер; 2) измерването може да не премахва неопределеността, ако тя има неясен произход; 3) измерването обикновено се съпровожда с неизбежни грешки; 4) интересуващата ни величина често е ненаблюдаема и се поддава само на косвени измервания.

В съвременното понятие за измерване се включват: пасивни наблюдения и активни експерименти; количествени и качествени данни; резултатите от опита могат да бъдат: точни, неясни (неопределени) и да съдържат шум.

1.5. Системен подход, системни изследвания, системен анализ

Системен подход, системни изследвания, системен анализ са три понятия, които често се използват като синоними, но които все пак се различават.

Системният подход се използва в първите работи, в които обща теория на системите (ОТС) се прилага за практически приложения. При този подход се подчертава необходимостта обектът да се изследва от различни страни чрез многоаспектни изследвания.

Системни изследвания е понятие, което се използва по-конструктивно. То включва определяне на класа на системите, въвеждане на понятието структура, а понякога и правила за създаването ѝ.

Системен анализ е понятие, което се използва в литературата неоднозначно. В някои източници се определя като приложение на системните концепции към функциите на управление, свързани с планиране; в други – като синоним на "системни изследвания" или на "анализ на системи". В работите по системен анализ винаги се предлага методология за провеждане на изследвания, като се прави опит да се отделят етапите на изследване и да се предложи методика за изпълнение на тези етапи в конкретни условия. Освен това се извършва определяне целите на системите, разглеждат се въпросите за формализация на представянето на целите. Обобщено: системният анализ е "методология в изследването на целенасочени системи".

1.6. За решение на какви проблеми се използва системният анализ?

Човешката дейност бива два типа:

- рутинна, т.е. съдържа регулярни, всекидневно решавани задачи;
- решаване на нови, сега възникнали задачи.

Първата част привидно не се нуждае от системен анализ. Но наличието на многомилионен апарат за икономическо управление сам по себе си създава трудности в управлението и поражда проблеми. Например голям проблем е тенденцията за постоянно увеличаване на броя на хората, заети в управлението.

Проблемите могат да се обединят в следните три класа:

- добре структурирани и количествено формулирани;
- слабо структурирани или смесени проблеми, съдържащи както количествени, така и качествени оценки;

- неструктурирани или качествени проблеми.

Системният анализ се използва при решаване на втория клас проблеми, докато при третия клас проблеми се използват евристични методи.

Системният анализ често се прилага за методологично решаване на изследователски, военни, политически и икономически проблеми.

1.7. В какви ситуации на икономическото управление възниква необходимостта от системен анализ?

- При решаване на нови проблеми, когато с помощта на системния анализ се формулира проблемът, определя се какво и защо е необходимо да се знае, кой трябва да знае.
- При решаването на проблем, който предвижда обвързване на целите с множество средства за постигането им.
- Ако проблемът има разклонени връзки, предизвикващи отдалечени последствия в различни стопански области, и вземането на решение по тях изисква отчитане на пълна ефективност и пълни загуби.
- При решаване на тези проблеми, при които съществуват различни трудносравними варианти на решение на проблема или постигане на взаимосвързан комплекс от цели.
- При всички случаи, когато в стопанството се създават съвършено нови системи (например преобразуване на съобщителни системи).
- В случаи на подобряване, усъвършенстване, реконструкция на производството или икономическите отношения.
- При проблеми, свързани с автоматизация на производството и особено на управлението в процеса на създаване на автоматизирани системи за управление на кое да е звено.
- При усъвършенстване на методите и формите на икономическо управление, тъй като те не действат самостоятелно, а във взаимна връзка.
- Когато усъвършенстването на организацията на производството или управлението или създаването на автоматизирана система на управление се извършва на уникални, нетипични обекти, отличаващи се с голяма специфичност на дейността си, където не бива да се действа по аналогия.

- В случаите, когато при разработка на планове и програми за развитие трябва да се взема под внимание факторът неопределеност и риск.
- При планиране с далечна перспектива (15 – 20 години).
- При създаване на система за оптимално планиране или управление, където трябва да се разработят критерии за оптималност, като се имат предвид целите на развитие и функциониране на икономическата система, мястото ѝ в икономическите взаимоотношения.
- Системни методи в областта на съобщенията – прогнозиране на развитието, перспективно планиране, проектиране и вземане на управленски решения.

1.8. Етапи при решаване на проблем

Решението на всеки проблем се извършва на следните 4 етапа:

- правилно формулиране на проблема;
- определяне на всичко, което има отношение към решаване на проблема, т.е. формулиране на системата наум;
- създаване на комплекс методи и средства за решаване на проблема (т.е. за създаване на системата);
- организиране правилното изпълнение на системата и управлението ѝ.

Изводи

Ценността на общата теория на системите е не толкова в нейното математическо оформление, колкото в разработването на целите и задачите на системните изследвания, развитие на методология за анализа на системи, установяване на общосистемни закономерности.

Системните изследвания представляват изследване на явления, процеси и предмети в тяхното непрекъснато взаимодействие с нормалните условия за тяхното съществуване.

Главното в системните изследвания е как сложното да се превърне в просто, как трудно разрешимият, но и трудно разбираем проблем да се превърне в ясна последователност от задачи, имащи метод за решение.

Общата теория на системите е теория, върху която се основават принципите за провеждане на системните изследвания.

Общата теория на системите в класификацията на научните теории е "над" частнонаучните теории. Тя е "метатеория".

Система е основно понятие на общата теория на системите.

Поведението на системата е предмет на общата теория на системите. То отразява динамиката на системата.

2. Система. Свойства, състояние, поведение, цел и план на системата

2.1. Система. Съставни части на системата

Общата теория на системите се занимава със същността на системата.

Понятието система е много общо понятие с оглед да може всеки обект на изследване да се вмести в него.

Например в общата теория на системите и човек, и автомобил, и цвете, и отрасъл от икономиката – промишленост, селско стопанство и др. – се означават като система.

Поради тази общност на толкова различни обекти е естествено основното понятие на общата теория на системите – система – да бъде абстрактна, а също и логическа конструкция, за да може на нейна база изследователят (наблюдателят) да си изгради методика на изследване.

Отпък и дефиницията за система – абстрактно-логическа конструкция, която притежава най-общите свойства на предметите, процесите и явленията в обективния свят.

Съставните части на системата са: елементи, подсистема, структура, връзки. Те характеризират строежа и функционирането на системата и са тясно свързани помежду си, като се определят една чрез друга.

Елементът е най-простата неделима част на системата. Понятието елемент е неоднозначно и зависи от целите на разглеждането на обекта като система, от аспекта на неговото изучаване.

Подсистемата е компонент на системата, по-голям от елемента и, от друга страна, по-детайлен от системата като цяло. Названието подсистема подчертава, че тя трябва да притежава свойствата на система (в частност свойството цялостност, разгледано по-долу). За нея има подцел.

Структурата отразява най-съществените взаимоотношения между подсистемите и в частност между елементите, като тези взаимоотношения се изменят слабо при изменения в системата. Структурата осигурява съществуването на системата и нейните основни свойства (вътре в "черната кутия").

Връзките заедно с елементите осигуряват възникването и съхраняването на структурата и цялостните свойства на системата. Характеризират едновременно и строежа на системата (т.е. статиката), и функционирането (динамиката) на системата.

2.2. Свойства на системата

Най-общите свойства на системите са:

2.2.1. Цялостност

За целите на изследването системата действително или мислено се отделя от останалите процеси, предмети и явления посредством граница.

Отпък система и околна среда могат да се определят по следния начин: система е изследваният предмет, процес или явление заедно с неговата граница, а околна среда на системата са всички останали предмети, явления и процеси.

Основен проблем в общата теория на системите е намиране на границата между системата и околната среда.

Определянето на границата за дадено изследване се извършва от трети агент (извън системата и околната ѝ среда) и това е изследователят.

За нуждите на едно изследване или разглеждане системата може да включва едни компоненти, а за нуждите на друг изследовател системата може да включва други компоненти.

Промяната на мястото на наблюдателя води до различна трактовка на обекта на изследване и оттам на околната среда, която включва всички останали предмети, явления и процеси.

Например: една голяма компания, която има дъщерни фирми, може да се разглежда като система, а дъщерните ѝ фирми – като съставни подсистеми, които заедно определят облика на компанията. Потребителите на нейната продукция, всички други компании, как-

то и икономическата, политическата и т.н. обстановка в страната и света ще съставят околната среда, в която работи компанията. За целите на друго изследване като система може да се разгледа само една от дъщерните фирми и тогава останалите дъщерни фирми ще се причислят към околната среда за така определената система.

Друг пример: за приложния програмист компютърът заедно с базовото програмно осигуряване и операционната система представлява система, докато системният инженер вижда като система само хардуера на компютъра.

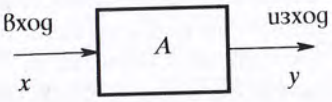
Още примери за системи: телевизор, чиито основни подсистеми са тези за изображението и за звука; технологична система, съставена от управляваща подсистема и изпълнителни подсистеми.

Системата взаимодейства с околната среда като единно цяло. Тя е единна, има общи свойства и поведение. Цялостността се изразява в това, че в системата възникват нови интегративни качества, които не са свойствени за съставящите я компоненти. Например един компютър представлява система, в която се въвеждат и изпълняват данни, запомнят се, над тях се извършват аритметични и логични операции и т.н., докато паметта на компютъра може да съхранява данни, но не може да извършва операции над тях.

Изменението на кой да е елемент оказва въздействие върху всички други елементи на системата и води до изменение на цялата система. Например, ако двигателят на един автомобил се промени от бензинов на дизелов, това ще окаже влияние на останалите му елементи и на системата като цяло.

2.2.2. Комуникативност – взаимодействие между системата и околната среда

Системата непрекъснато взаимодейства с околната си среда (фиг. 1.2).



Фиг. 1.2. Взаимодействие на системата с околната среда

където:

$x = (x_1, x_2, \ldots, x_i, \ldots, x_I)$

$y = (y_1, y_2, \ldots, y_j, \ldots, y_J)$.

Въздействието на околната среда върху системата се осъществява посредством входовете на системата x. Входните въздействия са два типа: управляващи и смущаващи.

Въздействието на системата (А) върху околната среда (Е) се осъществява посредством изходите на системата y. Входовете и изходите на системата са вектори, тъй като имат множество скаларни компоненти, т.е. входове от x_1 до x_I и изходи от y_1 до y_J.

2.2.3. Динамичност – системата се променя във времето, т.е. функционира

Входното въздействие $\vec{x}(t)$ се променя в интервала от време от t_1 до t_k, съответно:

$$\vec{x}(t_1),\ \vec{x}(t_2), \ldots,\ \vec{x}(t_k),$$

което се дължи на изменението на въздействието на околната среда върху системата.

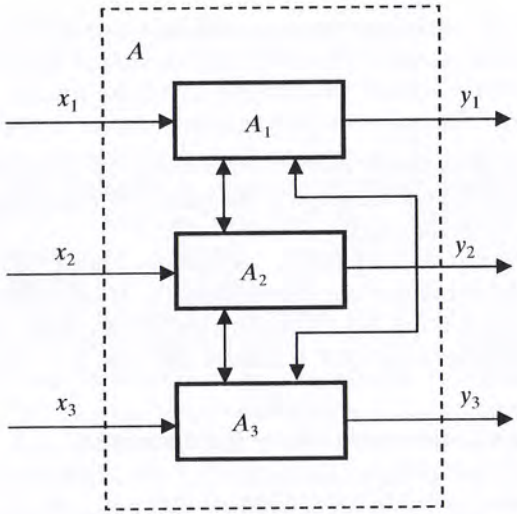
Промяната на изхода $\vec{y}(t)$ се дължи както на промяна на входното въздействие, така и на вътрешни причини в работата на самата система.

$$\vec{y}(t_1),\ \vec{y}(t_2), \ldots,\ \vec{y}(t_k).$$

2.2.4. Делимост

За целите на изследването системата е "делима" мислено или в действителност.

При деленето се проявява структурата на системата. Резултатите от деленето са подсистеми на системата (фиг. 1.3).



$$A = \bigcup_{k=1}^{3} A_k$$

$$x = \bigcup_{k=1}^{3} x_k$$

$$y = \bigcup_{k=1}^{3} y_k$$

Фиг. 1.3. Структура на системата

При делението мястото на изследователя се променя. Докато първоначално системата за изследователя е "черна кутия" и той борави само с входовете и изходите ѝ, след делението той изследва интересуващата го подсистема както чрез входовете и изходите на системата, които имат пряко отношение към конкретната подсистема, така и с връзките ѝ с останалата част на системата, които се явяват нови входове и изходи към съответната подсистема.

Цялата система представлява обединение на всичките ѝ части, включително обединение на входове и изходи.

Например: един автомобил може да се раздели на три подсистеми – ходова част, двигател и каросерия, всяка от които може да се разглежда като самостоятелна система; един компютър може да се раздели на процесор, памети, входно/изходни устройства и т.н.; анатомията дели човека на множество подсистеми: нервна, сърдечно-съдова, двигателна, костна и др.

Делението за целите на изследването може да продължава до достигане на някакво най-ниско равнище, след което то губи смисъл.

Подсистемите от най-ниско равнище са елементи на системата.

Структурата на системата е съвкупността на подсистемите и връзките между тях заедно с техните свойства при дадено равнище на делене. При друго равнище на делене структурата се променя.

Както се вижда, процесът на делене завършва, когато завърши интересът на изследователя.

Например: за нуждите на молекулярната физика един обект може да се дели до ниво молекули, докато за оптиката – до ниво оптични елементи, за инженера по телекомуникации делението завършва на ниво електронни блокове, но не по-раздробено от елементи като интегрални схеми, съпротивления, кондензатори и др.

Други свойства на системите са:

2.2.5. Адитивност (сумативност)

Според това свойство изменението на кой да е елемент на системата зависи само от него самия и изменението на цялата система е сума от измененията на независещите ѝ един от друг елементи. Взаимодействието между елементите в този случай липсва.

Това свойство е двойствено със свойството цялостност. Свойството адитивност се проявява при системи, които като че ли са се разпаднали на независими елементи. В такъв краен случай не може да се говори за система.

Строго погледнато, всяка система се намира между крайните точки на една условна скала – абсолютна цялостност и абсолютна адитивност. В разглеждан етап на развитие на системата тя се характеризира със степента на проявление в нея на едното или другото свойство и тенденцията към неговото нарастване или намаляване.

Например: автономията на висшите училища и подчинението им на Министерството на образованието и науката; автономията на институтите и лабораториите на БАН от централното ръководство.

За оценка на тези тенденции се въвеждат закономерности като:

- прогресираща факторизация, наричана също механизация. Това е процес на преход на системата от състояние на цялостност в състояние на сумативност. При това коефициентът на взаимодействие между елементите на системата намалява и когато времето клони към безкрайност, коефициентът клони към нула;
- прогресираща систематизация, наричана също централизация. Това е процес на увеличаване на коефициента на взаимодейст-

вие между елементите на системата. В резултат – незначителни изменения на една (основна) част на системата довеждат до съществени изменения на цялата система.

2.2.6. Йерархичност

Отделните елементи на системата представляват системи от по-нисък порядък и/или разглежданата система е в качеството на елемент от по-висок порядък.

Свойството цялостност се проявява на всяко равнище на йерархията.

Например: йерархичната организация на природата започва от атомно-молекулярно равнище и завършва с човешкото общество. Йерархично изградена е и системата от телефонни централи.

На всяко равнище на йерархията възникват нови свойства, които не са сума от свойствата на елементите.

Важно е да се отбележи, че обединението на елементите във всеки възел води до поява на нови свойства, които елементите не са имали и до загуба на други, а също всеки подчинен на йерархията член придобива нови свойства, които не притежава в изолирано състояние.

2.2.7. Разнообразие (множественост)

Всеки елемент на системата притежава собствено поведение и състояние, различно от тези на другите елементи и на системата като цяло.

Закон за необходимото разнообразие е формулиран от Ашби. Той е доказал теорема, въз основа на която може да се направи извод, че за да се създаде система, способна да се справи с проблем, имащ известно разнообразие, е необходимо системата да притежава още по-голямо разнообразие от разнообразието на решавания проблем или да бъде способна да създаде в себе си това разнообразие.

Този закон се използва широко в практиката. Позволява да се създават препоръки за усъвършенстване на системата за управление на предприятие.

2.2.8. Наблюдаемост

Всички входове и изходи се контролират или наблюдават от наблюдателя.

2.2.9. Неопределеност

Наблюдателят не може едновременно да фиксира всички свойства и отношения на елементите на системата и за да ги определи, извършва изследване.

2.2.10. Изобразимост

Езикът на наблюдателя има достатъчно общи елементи с естествения език на изследвания обект, за да отрази всички свойства и отношения, необходими за решение на задачата.

2.2.11. Нетъждественост на изобразяването

Знаковата система на наблюдателя е различна от знаковата система на проявление на свойствата на обектите и тяхното отношение; системата се строи с прекодиране в нова знакова система; неизбежната при това загуба на информация определя нетъждествеността на системата с изследвания обект.

2.3. Състояние на системата

След въвеждане на понятието структура на системата с цел описание на динамиката на системата, т.е. на нейното функциониране, се въвежда понятието състояние на системата в даден момент t, т.е. във функция от времето. То напомня на мигновена снимка, "срез" на системата, спирка в нейното развитие.

За целите на изследването се приема, че от всички свойства на изследваната система само част от тях са от значение. Те са съществени свойства (показатели) на системата.

Например: при модел на предприятие основно свойство за математическото моделиране е производството на основна продукция;

за други модели основното свойство на предприятието може да включва освен производството на продукция и ресурсите за производството ѝ; за нуждите на счетоводството на едно предприятие основно, съществено свойство е балансът на предприятието, включващ активи и пасиви и в тях раздели и статии, които описват основните свойства на предприятието.

При всеки вид изследване изследователят определя основните свойства в зависимост от гледната точка.

Функционирането на системата означава промяна на показателите във времето.

В момент t състоянието на системата се определя от:

а) списъка от показатели (наименования):

$$p_1,\ p_2,\ ...,\ p_l,\ ...,\ p_L \text{ и}$$

б) стойностите на тези показатели, които се присвояват чрез измерване, а именно:

$p_l(t)$ – стойността на l-тото основно свойство в даден момент t;

$$s_t^A = U p_l(t),$$

където s_t^A е състояние на системата A в момента t, което представлява обединение на основните свойства $(p_1 - p_l)$ в същия момент.

За различните моменти от време състоянията са различни.

Например: балансът на едно предприятие към 31.12.1998 г. е един, а към 31.12.2005 г. е друг, въпреки че основните свойства на баланса (раздели и статии), т.е. неговите показатели, са едни и същи, но стойностите на тези показатели са различни.

Тази разлика ни дава възможност да описваме състоянието на системата в различни моменти от време, т.е. да проследим поведението на системата.

2.4. Поведение на системата

Поведението на системата се отнася за определен период, а състоянията се отнасят за отделни моменти от времето. Поведението на системата представлява начинът на пораждане на изходите на системата на база на входовете ѝ.

Поведението на системата представлява последователна смяна на състоянията на системата във времето за даден период:

$$\Pi_T(A) = (s_{t1}^A, s_{t2}^A, s_{t3}^A, s_{t4}^A) \text{ при}$$
$$T = (t_1, t_2, t_3, t_4).$$

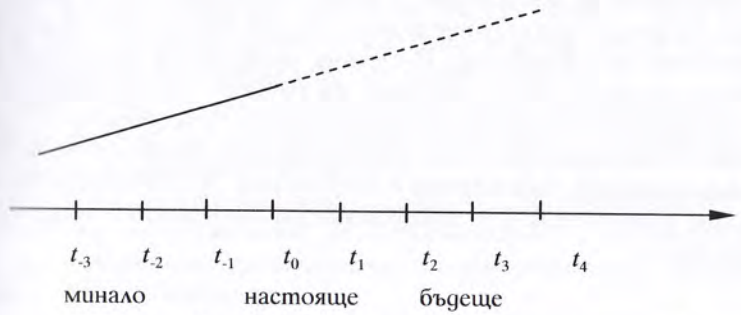
За целите на изследването времето може да бъде:

- непрекъснато;
- прекъснато (дискретно).

В икономиката времето винаги е дискретно. Дефинира се от момента от време, когато се иска отчетност.

Типичен пример е балансът – извършва се с периодичност: на година, на полугодие или ежемесечно.

Скалата на времето се дели от момента на провеждане на изследването на минало, настояще и бъдеще (фиг. 1.5).



Фиг. 1.4. Поведение на системата

На графиката е представен само един показател с оглед изобразяване в двумерна координатна система.

Времето на провеждане на изследването дели скалата на две части – минало и бъдеще.

Оттук възникват две групи системни изследвания:

- ретроспективни, при които се изследва миналото на системата, и
- проспективни, при които се изследва бъдещето на системата.

Ретроспективните изследвания се извършват на база на регистрирани минали състояния и поведение. Този вид изследвания най-често се провеждат с помощта на статистически методи.

Миналите регистрирани състояния представляват динамичен, временен ред и на тяхна база се прави прогностично изследване за очакваните състояния в бъдеще.

Поведението на системата се характеризира чрез:

Равновесие на системата – определя се като способност на системата в отсъствие на външни смущаващи въздействия или при постоянни въздействия да запазва състоянието си продължително. Чрез това понятие обикновено описват поведението на сложни социално-икономически системи.

Устойчивост – способност на системата да се връща в състояние на равновесие, след като е била изведена от това състояние под влияние на външни смущаващи въздействия. Това е възможно само ако отклоненията не превишават някакъв предел.

Състоянието на равновесие, в което е способна да се връща системата, по аналогия с техническите устройства се нарича устойчиво състояние на равновесие. В сложни системи са възможни неустойчиви състояния или състояния на равновесие, връщането към които се съпровожда от колебателен процес. Равновесието и устойчивостта в икономически и организационни системи са значително по-сложни понятия, отколкото в техниката. До известно време са използвани само за някакво предварително описателно представяне на системата.

2.5. Видове системи

Системите – предмети, процеси и явления – се делят според следните показатели.

2.5.1. В зависимост от намесата на човека при създаването им на:

- естествени – създадени без намесата на човека, и
- изкуствени – създадени от човека.

2.5.2. В зависимост от това, дали се разглеждат от даден изследовател със или без поведение биват:

- статични – когато се изследва даден момент от време
- динамични – когато се изследва поведението на системата във времето.

Динамичните системи според типа на поведението си биват:

- детерминирани и
- недетерминирани, които на свой ред според възможността за предвиждане на поведението им биват:
  - с неопределеност,
  - стохастични.

Голяма част от изкуствените системи имат детерминирано поведение, т.е. те са системи само с едно поведение.

Пример за детерминирано поведение е тригер (логически елемент с две устойчиви състояния), на който познаваме настоящото състояние. В зависимост от това в следващия момент дали ще му се подаде входно въздействие и на кой вход, той ще запази или промени състоянието си по предварително известен начин.

Голяма част от системите изобщо са недетерминирани. Социално-икономически, биологични и много други системи се предсказват с определена степен на вероятност.

Пример за недетерминирана система е едно предприятие.

Делението на системите на детерминирани и недетерминирани има отношение към прогностичното поведение, т.е. свързано е с предсказване на бъдещето.

2.6. Системи с цел

Обикновено изкуствените системи са системи с цел, поставена от човека, т.е. управлението на системата я насочва към определено поведение или състояние, компенсирайки външните смущения. Постигането на целта в повечето случаи има вероятностен характер, като поведението на системите се определя от мощността на управляващото устройство.

В зависимост от това, дали системите имат цел и каква, могат да се обособят три класа системи:

- системи, непритежаващи цел, определена от човека, но притежаващи "обективна цел" – например природните явления;

- системи, притежаващи постоянни цели, заложени в конструкцията им – например някои видове автоматични машини (перални и др.);
- системи, притежаващи способността да формират и изменят целите в процеса на приспособяване към средата и развитието. Тук се отнасят всички социално-икономически системи.

Направените по-горе разсъждения водят до ново определение за система, а именно: системата е средство за постигане на целта.

За системите с цел може да се определи едно бъдещо състояние $s_{ц}^*$.

То трябва да отговаря на две условия:

- да е възможно (от гледна точка на структурата на системата).

Например: ако едно предприятие за продължително време има месечна печалба 2 милиона, то залагането на печалба от 15 милиона за следващ месец не е възможно;

- да е желателно състояние, "най-добро" от няколко възможни състояния от определена гледна точка.

Състоянието $s_{ц}^*$ се нарича цел на системата.

Достигането на системата до целта изисква подходящо въздействие върху системата за периода

$$T = (t_0, t).$$

Генерирането на въздействия изисква управление на системата.

Целта е неотделима от средствата за постигането ѝ. Това, което е цел от една гледна точка, се явява средство от друга гледна точка. Това, което е целесъобразно да се направи, често зависи от това, какво е възможно да се направи.

Преценка на средствата за постигане на целта се извършва на базата на изработени от изследователя критерии.

Критерият е правило или норма, по които се подбират тези или други средства за постигане на целта. Критерият също е метод за сравняване на алтернативи.

Целта в общия случай указва посоката на действие.

Критерият в общия случай допълва понятието цел и указва ефективен начин за постигането ѝ (в минимален срок, за сметка на увеличаване на производителността на труда и др.). Ако съществува достатъчна информация за критериите и те са количествени, то може да се свърже аналитичният израз за цел и средствата за постигането ѝ, което ще представлява критерий за ефективност или критерий за функциониране на системата. Ако трябва да се удовлетворяват повече изисквания, изразите се получават чрез обединяване на критериите.

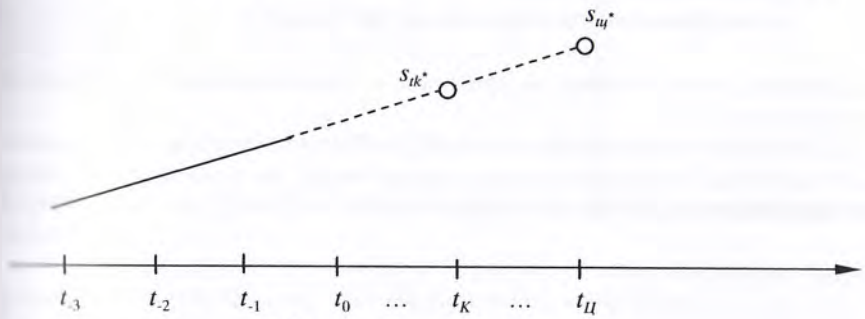
Начинът на представяне на целите във вид на критерии за ефективност позволява да се решават въпроси за избора на средства за постигане на целта чрез оптимизиране на аналитичните изрази посредством различни методи. Този начин е получил толкова широко разпространение, че понятията цел и критерий в някои области на техниката и изследването на операции могат да се считат синоними. Това няма значение, ако можем да получим критерий за ефективност. Но в проблемите, решавани с помощта на методите на системния анализ, голяма част от критериите имат качествен характер.

За редица обекти, разглеждани в качеството на системи, се отбелязват и по-сложни свойства, например сложно, неоднозначно поведение, наличие на сложна цел и др.

2.7. План на системата

Планът на системата предвижда постигане на състоянието s_{tk}^*, което представлява ново бъдещо състояние, намиращо се по-близо до настоящия момент (t_0), отколкото е целевото състояние $s_{ц}^*$ (фиг. 1.5).

Това бъдещо състояние (s_{tk}^*) се определя при предпоставката, че достигането му според този план е възможно, желателно, т.е. най-добро, и гарантира достигане до целта.



Фиг. 1.5. План на системата

Например изграждането на система от телекомуникациите се извършва по следния примерен план:

- най-напред се извършва декомпозиция на целите на системата, като се декомпозира системата на подсистеми, всяка от които има подцел от общата цел;
- след това се съставя план за изграждане на системата, като се въвеждат междинни етапи, разглеждани като S_{tk}, а именно: задание за системата, задания за подсистемите, задания за елементите, включващи икономически и технически показатели (параметри);
- следва определяне на критерии за постигане на целта/целите – време, разходи и т.н.;
- генериране на алтернативи за решение. Това е творчески етап, методите за който ще разгледаме по-нататък (първа глава, подт. 8).

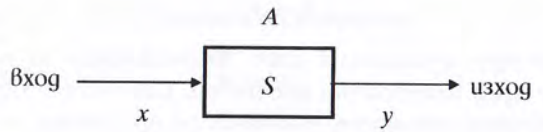
3. Връзки в системите. Предавателна функция и предавателни коефициенти на системата. Видове връзки

За връзките в системите казахме, че заедно с понятията елемент и/или подсистема осигуряват възникването и съхранението на структурата и цялостните свойства на системата. Те характеризират едновременно и строежа на системата (т.е. статиката), и функционирането (т.е. динамиката) на системата.

3.1. Предавателна функция и предавателни коефициенти на системата

Основа за изследване на връзките е предавателната функция на системата.

Предавателната функция описва реакцията на изхода при изменение на входа. Тя характеризира предаването на условията на входа на системата върху изхода ѝ (фиг. 1.6).



Фиг. 1.6. Предавателна функция на система

Предавателната функция се представя с един оператор A, който в общия случай е оператор на преобразуването и е оператор, когато входът и изходът са вектори. В този случай представлява матрица, която описва всеки изход с кой вход контактува и по какъв начин:

$$\vec{y} = A\vec{x}.$$

При $\vec{x} = (x_1, x_2, ..., x_m)$ и $\vec{y} = (y_1, y_2, ..., y_n)$

$$\begin{aligned}
y_1 &= A_{11}x_1 + A_{12}x_2 + ... + A_{1m}x_m \\
y_2 &= A_{21}x_1 + A_{22}x_2 + ... + A_{2m}x_m \\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\
y_i &= A_{i1}x_1 + A_{i2}x_2 + ... + A_{im}x_m \\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\
y_n &= A_{n1}x_1 + A_{n2}x_2 + ... + A_{nm}x_m
\end{aligned}$$

и операторът на преобразуване ще бъде:

$$A = \begin{vmatrix}
A_{11} & A_{12} & ... & ... & A_{1m} \\
A_{21} & A_{22} & ... & ... & A_{2m} \\
... & ... & ... & ... & ... \\
A_{i1} & A_{i2} & ... & ... & A_{im} \\
... & ... & ... & ... & ... \\
A_{n1} & A_{n2} & & & A_{nm}
\end{vmatrix},$$

където $A_{ij} = y_i/x_j$ е коефициентът на частичен ефект (коефициентът на предаване).

В частния случай на един вход и един изход операторът на преобразуване се трансформира в коефициент на предаване.

$$Y = K\,x.$$

Операторното изчисление дава възможност за дефиниране на операторите чрез алгебрични действия. Най-често те са линейни и се извършват чрез оператори особено при предаване на съобщения.

Линейните оператори имат две основни свойства: комутируемост и адитивност.

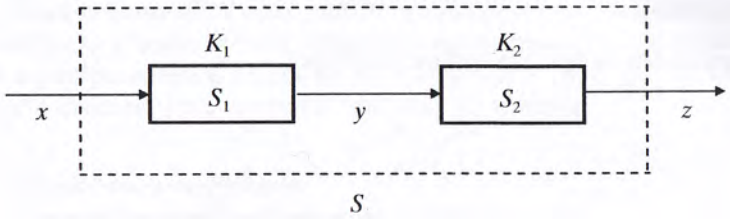
$$Y = A\,x;$$
$$y = A(c\,x) = c\,A\,x;$$
$$y = A(x_1 + x_2) = A\,x_1 + A\,x_2.$$

Това са двата случая на най-често използване на операторно смятане в далекосъобщенията.

3.2. Видове връзки

3.2.1. Непосредствена (незатворена) връзка

Най-простата връзка между две системи е последователната – непосредствена незатворена връзка (фиг. 1.7).



Фиг. 1.7. Последователна връзка

Да разгледаме случая, когато двете свързани системи са от най-прост тип, т.е. с по един вход и един изход, при което операторът на преобразуване е коефициент на предаване.

Задачата е при известни коефициенти на предаване на всяка от системите K_1 и K_2 да се определи коефициентът на предаване на общата система K.

За системите S_1, S_2 и S можем да напишем

$$S_1\colon\ y = K_1\,x \qquad K_1 = y/x$$
$$S_2\colon\ z = K_2\,y \qquad K_2 = z/y$$
$$S\colon\ z = K\,x \qquad K = z/x = K_2 y/x = K_1 K_2,$$

където:

x е входът на общата система и в частност на първата;

y – изходът на първата система и входът на втората;

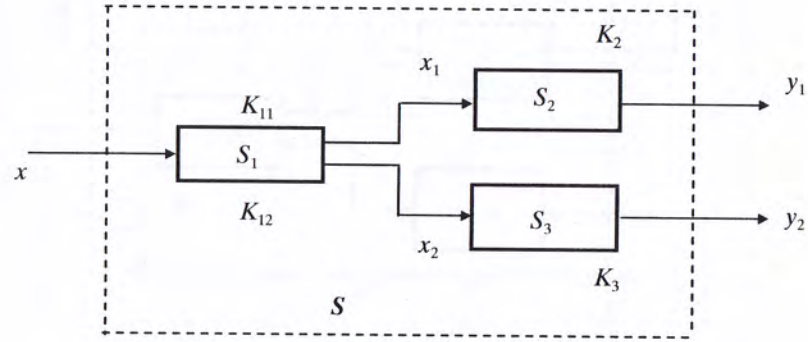
z – изходът на общата система и в частност на втората.

От предходното изложение следват изразите за y и z.

От направените елементарни изчисления се вижда, че общият коефициент на цялата система е произведение на коефициентите на двете съставни системи.

3.2.2. Паралелна разпределителна връзка

Най-простата връзка от този тип е, когато изходите на една система се разпределят към две други системи, всяка от които има по един вход и един изход (фиг. 1.8).



Фиг. 1.8. Паралелна разпределителна връзка

Първата система се характеризира с оператор на преобразуването, съдържащ два предавателни коефициента, тъй като има един вход и два изхода. Ако системата има повече входове и изходи, ще

има толкова предавателни коефициенти, колкото е произведението на входовете и изходите ѝ.

Задачата отново е при известни коефициенти на предаване на трите системи да се намерят предавателните коефициенти на двата изхода. Изходът на първата система е вектор с два компонента.

$$S: \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} K_{11} \\ K_{12} \end{vmatrix} x \qquad x_1 = K_{11}x \qquad x_2 = K_{12}x$$

$$S_2: \; y_1 = K_2 x_1$$

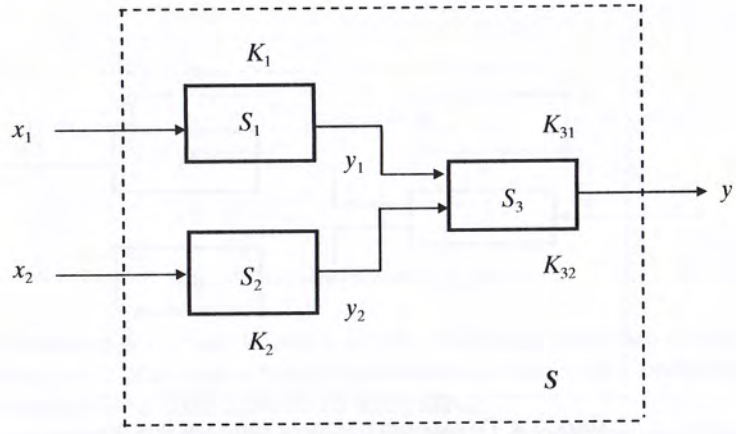
$$S_3: \; y_2 = K_3 x_2$$

$$S: \; y_1 = K_{01} x = K_2 x_1 = K_2 K_{11} x \qquad K_{01} = K_{11} K_2$$

$$S: \; y_2 = K_{02} x = K_3 x_2 = K_3 K_{12} x \qquad K_{02} = K_{12} K_3$$

3.2.3. Паралелна съединяваща връзка

При този тип връзка изходите на две системи се подават към трета система (фиг. 1.9).



Фиг. 1.9. Паралелна съединяваща връзка

В този случай входът на системата S_3 е вектор, съставен от два скаларни компонента.

Тогава

$$S: \quad y = \begin{vmatrix} K_{31} \\ K_{32} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} y_1 \\ y_2 \end{vmatrix} = K_{31}\, y_1 + K_{32}\, y_2$$

$$S_1: \; y_1 = K_1 x_1$$

$$S_2: \; y_2 = K_2 x_2$$

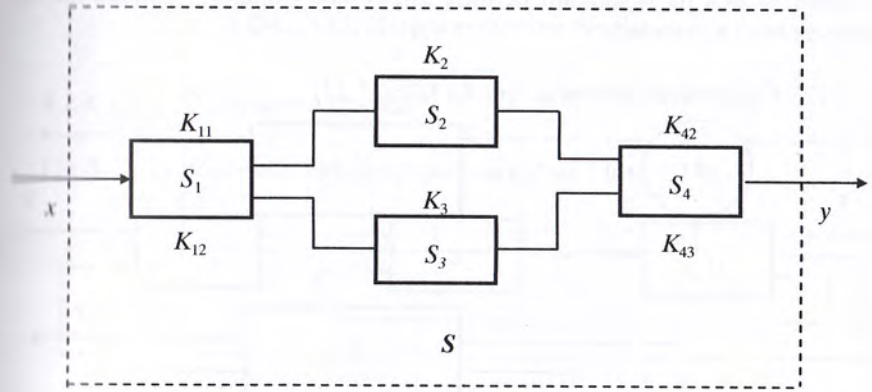
$$S: \; y = K_{31} K_1 x_1 + K_{32} K_2 x_2$$

$$S: \; y = K_{01} x_1 + K_{02} x_2$$

$$K_{01} = K_1 K_{31} \qquad K_{02} = K_2 K_{32}$$

3.2.4. Паралелна разклоняваща се връзка

Тя представлява обединение на паралелна съединяваща връзка между системи и паралелна разпределителна връзка (фиг. 1.10) – вж. задача 2, първа глава.



Фиг. 1.10. Паралелна разклоняваща се връзка

4. Обратна връзка в системите. Видове обратни връзки

Системи, при които изходният сигнал или някаква негова част постъпва на входа на системата, се наричат системи с обратна

връзка. Обратната връзка е информационно въздействие на изхода върху входа.

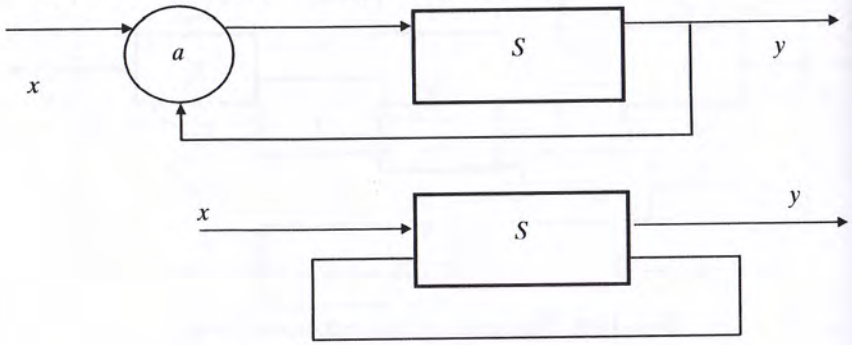
Въвеждането на обратна връзка в редица случаи позволява съществено да се подобрят работните характеристики на системата. При определени условия една система с обратна връзка може да стане неустойчива и в нея да възникне самовъзбуждане (автоколебание). На този принцип са изградени генераторите на сигнали (на честоти), които представляват основна част на радио- и телевизионните предаватели.

4.1. Видове обратни връзки

За общност на анализа с оглед прилагането му към множество частни случаи ще разглеждаме системите с обратна връзка, без да определяме физическия характер на входовете и изходите, както и при всички досегашни разглеждания.

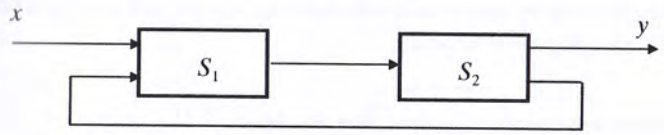
Схемите са дадени опростено, без елементи в обратната връзка и имат за цел да покажат редица възможни обратни връзки между системите, а именно:

4.1.1. Собствена обратна връзка (фиг. 1.11)



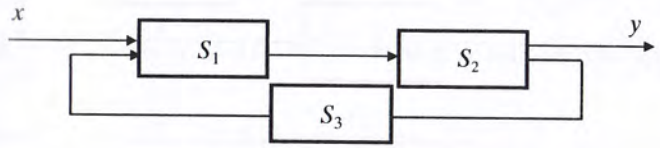
Фиг. 1.11. Собствена обратна връзка

4.1.2. Непосредствена обратна връзка (фиг. 1.12)



Фиг. 1.12. Непосредствена обратна връзка

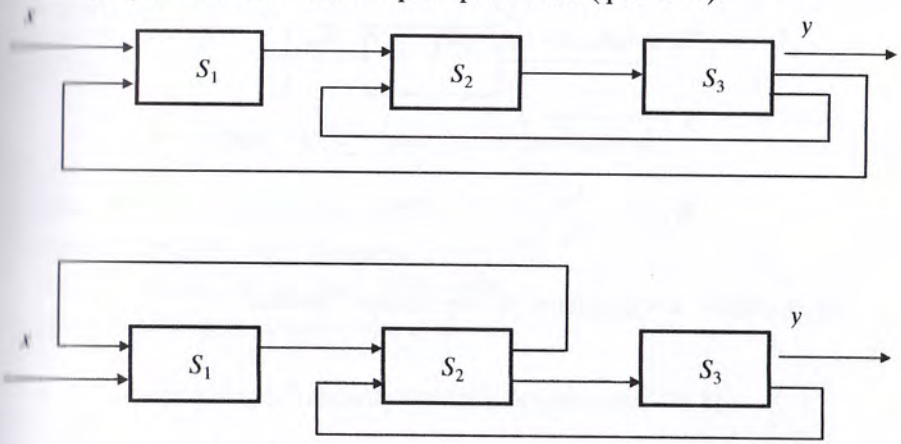
4.1.3. Непряка обратна връзка (фиг. 1.13)



Фиг. 1.13. Непряка обратна връзка

4.1.4. Сложни обратни връзки

По-долу са посочени някои примерни схеми (фиг. 1.14):

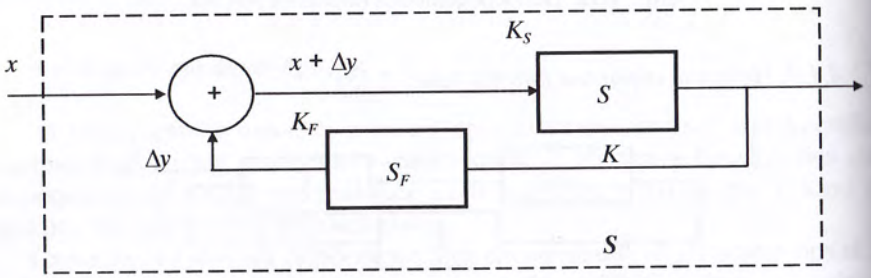


Фиг. 1.14. Примери на сложни обратни връзки

4.2. Коефициент на предаване на система, обхванатата от обратна връзка

Да изведем формулата за коефициент на предаване K_s на система, обхванатата от обратна връзка.

4.2.1. Положителна обратна връзка (фиг. 1.15)



Фиг. 1.15. Система, обхванатата от положителна обратна връзка

$$S: \quad y = K_S\,(x + \Delta y)$$

$$S_F: \Delta y = K_F\, y$$

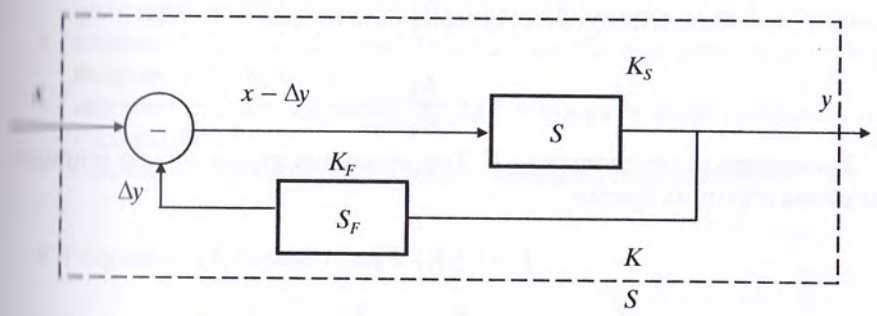
$$S_\Sigma: y = K_\Sigma\, x = K_S\,(x + \Delta y) = K_S\, x + K_S\, K_F\, y$$

$$y = \frac{K_S}{1 - K_S\, K_F}\, x$$

$$K_\Sigma = \frac{K_S}{1 - K_S\, K_F}$$

K_Σ се нарича коефициент на обратната връзка.

4.2.2. Отрицателна обратна връзка (фиг. 1.16)



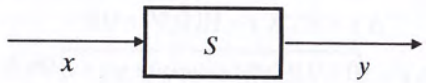
Фиг. 1.16. Система, обхванатата от отрицателна обратна връзка

$$K_\Sigma = \frac{K_S}{1 + K_S\, K_F}.$$

Извеждането на формулата е аналогично на горното, като знакът в знаменателя е положителен.

Да разгледаме конкретен пример на:

- система без обратна връзка (фиг. 1.17)



Фиг. 1.17. Система без обратна връзка

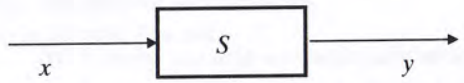
Ако $x = 1$, то $y = K_S\, x = 1000$.

Нека $\Delta x = 0.99$ (увеличение на x с 99 %).

Тогава $\Delta y = K_S\, \Delta x = 1000 \,.\, 0{,}99 = 990$

$y + \Delta y = 1990$ (увеличение на y с 99 %);

- система с отрицателна обратна връзка (фиг. 1.18)



Фиг. 1.18. Система с отрицателна обратна връзка

$$K_\Sigma = \frac{K_S}{1 + K_S\, K_F}.$$

Знаменателя ще означим с F. Той се нарича дълбочина на отрицателната обратна връзка.

$$F = 1 + K_F\, K_S.$$

При $K_F\, K_S >> 1$ $\quad K_\Sigma \approx \frac{K_S}{K_S\, K_F} = \frac{1}{K_F}.$

Например: $K_S = 1000;$

$$K_F = 0.1. \quad K_\Sigma \approx \frac{1}{0.1} = 10.$$

Ако $x = 1 \quad y = 10.$

Нека отново $\Delta x = 0.99$ (увеличение на x с 99 %)

$$x + \Delta x = 1.99$$

$$\Delta y = K_\Sigma \Delta x = 10.0{,}99 = 9{,}9$$

$$y + \Delta y = 10 + 9{,}9 \text{ (увеличение на } y \text{ с 99 \%)}$$

Относителното изменение на общия коефициент на предаване е

$$\frac{\Delta K_\Sigma}{K_\Sigma} = \frac{1}{F} \cdot \frac{\Delta K_S}{K_S}.$$

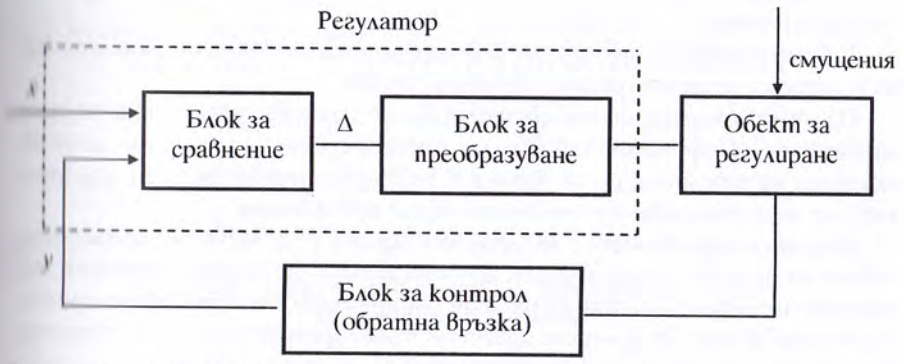
От горното следват основните характеристики на отрицателната обратна връзка:

- отрицателната обратна връзка намалява общия коефициент на предаване;

- когато една система без обратна връзка има висок коефициент на предаване, общият коефициент на предаване на същата система, обхваната от отрицателна обратна връзка, се определя само от коефициента на отрицателната обратна връзка;
- отрицателната обратна връзка запазва линейността между входове и изходи;
- отрицателната обратна връзка подобрява стабилността на системата;
- отрицателната обратна връзка потиска смущенията.

5. Регулиране в системите

Чрез регулирането в системите се извършва поддържане на една или няколко величини на определено ниво или изменение по зададен закон (фиг. 1.19).



Δ е сигналът за разсъгласуване и е равен на $x - y$.

Фиг. 1.19. Регулиране на система

В блока за сравнение се извършва сравнение на регулируемите стойности (величини) със зададените входни величини. Изходните величини се подават за сравнение чрез обратна връзка. В резултат на това сравнение се изработва сигнал за разсъгласуване (или грешка) (Δ), който се преобразува и въздейства на обекта за регулиране в посока на намаление на разсъгласуването. При това се получава затворена връзка за регулиране, която е характерен признак на системите за регулиране.

Блоковете за сравнение и контрол в икономическите системи се интерпретират като контрол, отчетност, статистика.

Системите с регулиране биват с автоматично и неавтоматично регулиране.

Системите с автоматично регулиране се делят на две групи:

А. *Системи с автоматична стабилизация* – предназначени са да поддържат постоянна стойност на една или няколко регулируеми (изходни) величини (фиг. 1.20 А). При отклонение на регулируемата изходна величина *y* от предварително зададена входна стойност *x*, предизвикано от действието на външни смущения и шумове върху обекта на регулиране, възниква сигнал за разсъгласуване (грешка), който се преобразува в сигнал, въздействащ на обекта за регулиране, така че регулируемата величина *y* да се поддържа на постоянно ниво.

Примери:

1. Токоизправител, който запазва постоянно изходното изправено напрежение при изменение на мрежовото захранване и товарното съпротивление.

2. Системата абонат – телефонна мрежа може да се разгледа като система за регулиране с обратна връзка.

Целта е телефонната система да се направи устойчива на претоварване. Под устойчивост на претоварване се разбира способността на мрежата да се връща в начално състояние след отстраняване на причините за увеличения брой повиквания.

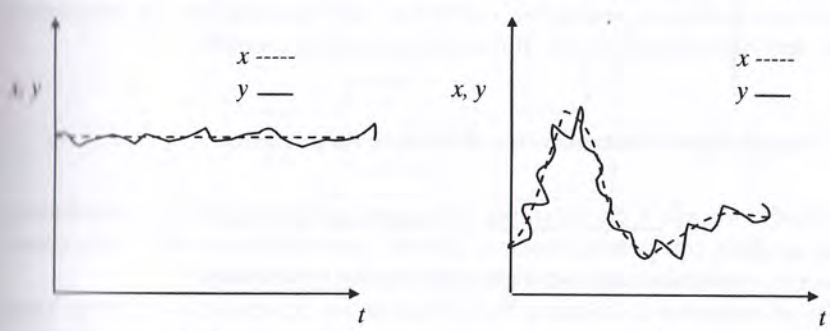
В системата абонат – телефонна мрежа се появява положителна обратна връзка, когато даден абонат попада на зает телефонен номер или номерът не отговаря. Той избира отново и отново и претоварва мрежата. За компенсиране се въвежда отрицателна обратна връзка по един от следните начини:

- обслужване на повикванията с изчакване;
- при международните разговори при заета мрежа механичен глас информира за заетостта на мрежата и предлага обаждането да се отложи;
- тарифата за градски и междуградски телефонни разговори е най-висока в часовете на най-натоварен трафик;
- тарифата на един телефонен градски разговор при цифровите телефони зависи от продължителността на разговора в часовете на най- натоварен трафик;

- би могло да се използва принципът на адаптивна "пълзяща" тарификация, като тарифата се увеличава при увеличение на броя на едновременните повиквания. Тогава оперативно трябва да се предава на абоната информация за текущата стойност на тарифата. Могат да се въведат акустични или оптични сигнали за размера на тарифата.

Б. *Следящи системи* – предназначени са за автоматично възпроизвеждане на зададени стойности на входната величина (фиг. 1.20 Б). В следящата система изходната величина трябва да "следи" възможно най-точно изменението на входната величина, която може да се изменя произволно.

Пример: Курсът на валутите у нас следи международния курс.



Фиг. 1.20. Промяна на входната и изходната величина във функция от времето

Няма разлика в принципа на действие на системите с автоматична стабилизация и следящите системи. В съответствие с условията на работа автоматичните системи се отнасят към едната или другата група.

В следящите системи основно значение в работния режим има изменението на входния сигнал, а в системите с автоматична стабилизация – противодействието на външните смущения при неизменно ниво на регулируемата величина.

Теорията на автоматичното регулиране разглежда принципите на изграждане и изследване на системите с автоматично регулиране. Тя решава следните основни задачи:

А. *Задача на анализа* – тя изследва поведението на системата при зададени параметри на системата. Анализът включва:

- изследване устойчивостта на системата;
- изследване на установилите се (статичните) режими;
- изследване на динамичните (преходните) режими при въздействие на различните входни сигнали.

Б. *Задача на синтеза* – тя извършва проектиране на система с автоматично регулиране (т.е. избор на структурата и параметрите ѝ) по зададени изисквания – бързодействие, точност на работа и т.н.).

Двете задачи са взаимно свързани: анализът на системите с автоматично регулиране се провежда с цел определяне и подобряване на основните динамични характеристики на системата; синтезът се провежда въз основа на предварителния анализ с отчитане на възможностите на реалната система, определени при предварително изследване на типови системи от различни класове.

6. Управление в системите. Вземане на решение

Управлението в системите напомня регулирането в системите, но за разлика от регулирането, което най-често се извършва автоматично, управлението не е автоматично действие.

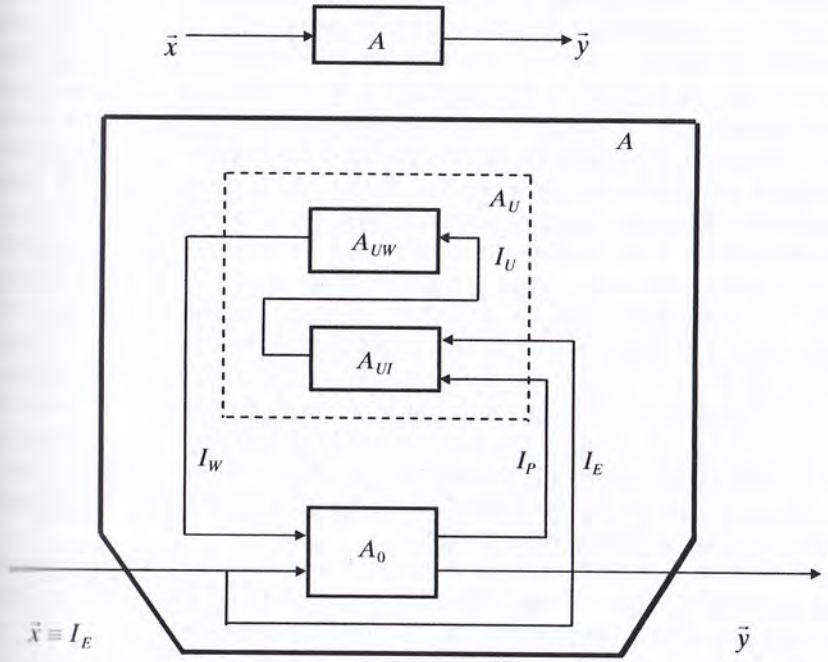
Управлението се състои във вземане на решение, или иначе казано, в избор на решение, т.е. това е един напълно целенасочен акт.

Всяко управление се реализира с управляваща подсистема A_U, включена в структурата на системата A и отделена от управляваната подсистема A_0 (фиг. 1.21).

Системата за управление съдържа две основни подсистеми: управляваща и управлявана.

Управляващата подсистема от своя страна съдържа две подсистеми:

- подсистема A_{UI} – за обработка на управленската информация и
- подсистема A_{UW} – за вземане на управленски решения и генериране на информация за въздействие.



Фиг. 1.21. Управление на система

На база на информацията от околната среда I_E и отчетната информация от управляваната подсистема I_P, която характеризира поведението ѝ, подсистемата за обработка на управленска информация A_{UI} изработва управленска информация I_U към подсистемата за вземане на управленски решения и генериране на информация за въздействие A_{UW}. Последната генерира информация за въздействие I_W, която се подава на входа на управляваната подсистема A_0 заедно с входното въздействие $\vec{x} \equiv I_E$.

Отново трябва да се подчертае, че управленската информация за въздействие I_W, т.е. вземането на решение (или извършване на избора), се извършва от хора, а не автоматично.

Пример: Да предположим, че управляваната подсистема A_0 изпълнява някаква полезна функция, например е предприятие, което трябва да произвежда определена продукция. Заедно с функцията му се задава критерий за ефективност, например максимален обем на реа-

лизация на продукцията или печалба. Подсистемата A_0 притежава вътрешна структура, която ѝ дава възможност да изпълнява зададената функция, а именно има основни и оборотни фондове и персонал, които за дадената технология се намират в необходимото съотношение. За простота да предположим, че във вътрешната структура се поддържат необходимите пропорции и не възникват никакви отклонения. Да допуснем също, че A_0 е пригодено за относително стабилни външни условия, например за съществуващия ред за снабдяване със суровини и материали, възникване на неизправности, транспорт, наемане на персонал, приети форми за квалификацията му, разпределение на доходите и т.н. Тогава под входно въздействие x и съответно I_E ще разбираме само отклоненията от нормалното състояние на околната среда, в която функционира A_0.

Задачата на управляващата подсистема A_U е да подаде такова въздействие I_U, че системата A_0 (т.е. разглежданото предприятие) да изпълнява своята функция с максимален критерий за ефективност.

Да се спрем малко по-подробно на процеса на вземане на решение, наречено още извършване на избор.

Изборът е действие, което придава целенасоченост на дейността на човека. Чрез избора човешката дейност се подчинява на определена цел или съвкупност от цели. В практиката настъпва момент, когато по-нататъшните действия могат да бъдат различни. Може да се реализира само едно, при което да се върнем към началната ситуация е невъзможно.

Способността за правилен избор е много ценно качество, присъщо на хората в различна степен. Велики пълководци, политици, инженери, учени, талантливи администратори се отличават от колегите си със способността за правилен избор.

Съвременна тенденция при осъществяване на избор в практиката е съчетаване на способностите на човек да решава неформализирани задачи с възможностите на формалните методи и компютърното моделиране.

Вземането на решение е действие над множество алтернативи и избор на една от тях.

За целта е необходимо:

- да се генерират множество алтернативи;
- да се определи целта, заради която се извършва изборът.

Задачата за избор се характеризира със следното:

- множеството алтернативи може да е крайно или непрекъснато;
- оценка на алтернативите може да се осъществи по един или няколко критерия, които могат да имат количествен или качествен характер;
- последствията от избора могат да са точно известни, т.е. избор в условия на определеност; да имат вероятностен характер, т.е. избор в условия на риск; да имат неоднозначен изход, недопускащ въвеждане на вероятност, т.е. избор в условия на неопределеност (например разпръсната/размита или статистическа);
- отговорността за избора може да бъде едностранна (в частния случай индивидуална) или многостранна (групова);
- степента на съгласуваност на целите при групов избор може да се мени от пълно съвпадение на интересите на страните (кооперативен избор) до тяхната пълна противоположност (избор в конфликтна ситуация). Междинни типове избор са: компромисен, коалиционен, избор в условия на нарастващ конфликт и др. Пример за това е изборът, който прави всяка парламентарна група, както и всеки депутат при изпълнение на задълженията им.

Проблемът за избора обикновено се състои в това да се изберат най-добрите при дадени условия алтернативи, т.е. оптималните, най-добрите според избран критерий.

Идеята за оптималност е централна, основна идея в кибернетиката. Максимизацията на критерия за оптималност се отъждествява с целта, а в действителност максимизацията на подсистемите е свързана с критериите за целите системи. Много цели е трудно или дори невъзможно да се опишат количествено, но при необходимост това се прави повече или по-малко успешно.

Например количествен критерий за: 1) работа на пожарната е след колко време пристига; 2) медицинското обслужване (според ЮНЕСКО) е детската смъртност; 3) обслужването в сферата на битовите услуги е по броя жалби; 4) дейността на научните сътрудници е по броя публикации или по цитируемостта на трудовете им.

При решаването на една задача може да се въведе многокритериалност, т.е. определяне на множество критерии, които трябва да бъдат взети под внимание при осъществяване на избор.

Например при избор на конструкцията на самолет трябва да се вземат предвид следните критерии:

- технически: височина на полета, скорост, маневреност, товароподемност, дължина на полета и др.;
- технологични: свързани с бъдещото производство на самолети;
- икономически: разходи за производство, експлоатация и обслужване на самолетите, конкурентоспособност и др.;
- социални: ниво на шум, замърсяване на атмосферата и др.;
- ергономични: условия за работа на екипажа, комфорт на пътниците и др.

Практическото изграждане на критерии води до необходимостта да се обобщи подобен опит, т.е. да се създаде "теория на ценностите", чиято главна задача би била алгоритмизацията на прехода от ценности към критерии. Трудно е да се построи обща теория на ценностите, но частни теории съществуват. Такива са например: ценност в икономиката (стойността), теория за полезността, психологическа теория за ценност и др. Създаването на критерии е повече изкуство, отколкото наука.

Много съществени са ограниченията при оптимизацията – ако не се зададат необходимите ограничения едновременно с максимизацията на основния критерий, могат да се получат непредвидени и нежелателни съпътстващи ефекти/резултати. За илюстрация на това Норберт Винер привежда английска приказка за маймунска лапка – талисман. Притежателят на талисмана е могъл с негова помощ да поиска изпълнението на едно свое желание. Пожелал си голяма сума пари и наистина ги получил, но ... те били застраховката за загиналия му син.

7. Познавателни задачи на системните изследвания в икономиката

7.1. Познавателни задачи на системните изследвания в икономиката

ПЗ.1. **Установяване на началното състояние S_{t0}^A, т.е. състоянието към момента на изследването.**

За една икономическа система това е отчетността.

Съществуват три вида отчетност:

- *счетоводна отчетност* – това е публична отчетност. Крайният ѝ резултат става публично достояние. Публикуват се баланс и отчет за приходи и разходи. Тази отчетност трябва да отразява точно настоящото състояние. Свързана е с наказателна отговорност;
- *статистическа отчетност* – също публична отчетност, но не е свързана с наказателна отговорност. Предстои обаче да се промени Законът за статистиката и статистическата отчетност също да бъде свързана с наказателна отговорност;
- *управленска отчетност* – това е вътрешна отчетност. Тя е най-точна и спада към параграф "фирмена тайна". Предназначена е за ползване само в предприятието/фирмата.

Голямата разлика между първите две публични отчетности и третата е, че за първите две са създадени национални стандарти. Те са свързани със Закона за счетоводството и Закона за статистиката.

За третата отчетност се създават вътрешнофирмени стандарти, които се отнасят до управленската информация – I_u. Те се създават най-трудно. Съвременното управление на предприятието е свързано именно с тях.

ПЗ.2. Установяване на миналото поведение на системата $\Pi_{T^-}(A)$, т.е. извършване на ретроспективен анализ.

$$\Pi_{T^-}(A) = (s_{t-3}^A,\ s_{t-2}^A,\ s_{t-1}^A,\ s_{t0}^A).$$

Обикновено това е статистически анализ. Извършва се на база на регистрираните временни редове за минали състояния. Трябва да се установят три основни елемента за временния ред – тенденция (*trend*), сезонни отклонения (*seazonal deviations*), случайни отклонения (*random deviations*). Тези три елемента обуславят възможността да се решава третата познавателна задача.

ПЗ.3. Установяване на прогноза $\Pi_{T+}(A)$ при предположение за запазване на условията.

$$\Pi_{T+}(A) = (s_{t1}^A,\ s_{t2}^A,\ s_{t3}^A,\ s_{t4}^A).$$

Задачата е да се определи бъдещото поведение на системата.

ПЗ.4. Установяване на целите. Определяне на най-доброто бъдещо състояние $s_{цj}^*$ (целеполагане).

ПЗ.5. Създаване на план за достигане на зададена цел $s_{цj}^*$, т.е. да се постигне състоянието s_{ik}^*, което най-добре ще спомогне за постигане на целта и е по-близо до настоящия момент от $s_{цj}^*$ (планиране).

ПЗ.6. Чрез обработка на отчетната информация I_P и информацията от околната среда I_E да се изработи управленската информация I_U.

$$I_U = f\,[(I_P).(I_E)].$$

ПЗ.7. Крайна задача на управлението на системата е намиране на информация за въздействие I_W, т.е. да се вземе управленско решение.

$$I_W = \varphi[(I_U)].$$

7.2. Методология на системното изследване

Предложен е алгоритъм за извършване на системното изследване, който се състои от следните шест етапа:

7.2.1. Определяне на границата на системата

7.2.2. Определяне на структурата на системата

7.2.3. Определяне на показателите на:

- системата,
- околната среда.

7.2.4. Определяне на познавателната задача (ПЗ.1. до ПЗ.7)

7.2.5. Решаване на познавателната задача

7.2.6. Внедряване на решението за промяна на действителността в желаната насока (I_W)

8. Методи в системните изследвания

В системните изследвания се използва голямо разнообразие от методи, някои от които създадени за други цели. Те се използват на различни етапи на системните изследвания. Използваните методи показват тенденция за нарастваща формализация. Използват се както качествени методи, така и количествено системно моделиране на компютър (т.е. напълно формализирани методи).

При качествените (неформалните) методи основно внимание се отделя на организиране на постановката на задачата, формиране на алтернативи (варианти), избор на подход за оценка, който невинаги може да се изрази количествено. Тези методи имат за цел да активират изказването на мнения от различни специалисти и се простират до извършване на обобщение на тези мнения.

При количествените методи се отделя голямо внимание на анализа на варианти, като на преден план се поставят количествените характеристики с оценка на тяхната коректност, точност, грешки и др. Тези методи нямат средства за постановка на задачата. Тя се предоставя на творческите възможности на човека.

8.1. Метод на мозъчна атака – brain storming

Методът получава широко разпространение в началото на 50-те години. Известен е като "метод за системно трениране на творческо мислене". Специално е разработен за получаване на максимален брой алтернативни предложения.

Характерно за метода е голямата свобода на мислене на участниците, които трябва да бъдат хора с различни професии, квалификация и опит. Приветстват се всякакви идеи, даже и да изглеждат смешителни, дори глупави и абсурдни. Не се допуска критика. Изказват се собствени идеи и модификации на изказаните идеи на другите участници. Желателно е идеите да не са тривиални.

Всички идеи след това се сортират и анализират обикновено от друга група експерти. Това почива на правилото, че е по-лесно да се получи компетентна критика, отколкото компетентно творчество.

При набиране на специалистите трябва да се намали влиянието на длъжностната структура на организацията.

Пример (класически): по време на войната чрез този метод е обсъдено как военноморският флот да противодейства на мини и торпеда. Една от идеите е била "щом се открие мина или торпедо, целият екипаж да застане на борда и да духа срещу нея". Групата на експертите намира рационално зърно. Реализацията е с мощни помпи да се създадат водни потоци, отблъскващи опасния обект.

8.2. Метод на сценария

В някои случаи търсеното решение на проблема трябва да определи реалното бъдещо развитие на събитията.

Такива хипотетични алтернативни описания на това, което може да се случи в бъдеще, се наричат сценарии, а методът – разработка на сценарии.

Сценарият представлява предварителна информация, въз основа на която се извършва по-нататъшна дейност по прогнозиране развитието на отрасъла, по разработка на варианти на проекта. Аналогичен е на киносценарий.

Създаването на сценарии е неформализиран процес, творческа научна работа.

Група висококвалифицирани специалисти съставят план на сценариите, като набелязват области от науката, техниката, икономиката, политиката, които трябва да се вземат предвид при решаване на проблема. Разглежда се възможен вероятен ход на събитията във времето, като се започне от настоящия момент. Препоръчва се да се разработят "горен" и "долен" сценарий като крайни случаи, между които може да се развие възможното бъдеще. Понякога е полезно в сценария да се включи въображаем активно противодействащ елемент, като по този начин се моделира "най-лошият случай". Важни етапи при създаване на сценарии са съставяне на списък от фактори, влияещи на хода на събитията, определяне на хората, които контролират тези фактори пряко или косвено, борба с фактори като некомпетентност, недисциплинираност и др.

Пример: Този метод се използваше по време на Косовската криза за оценка на възможния изход и съответно действията на нашата страна и международната общност.

8.3. Методът на експертните оценки

Използва се за оценка на предлаганите алтернативи и оттам за избор на алтернативи.

Възможността да се използват експертни оценки се основава на предположението, че индивидуалната експертна оценка отразява опита и знанието на специалиста – експерт за обективната действителност. Когато такива оценки са получени от група специалисти, се предполага, че истинската стойност на изследваната характеристика се намира вътре в диапазона от оценки и че обобщеното колективно мнение е достоверно.

При използване на експертни оценки се предполага, че мнението на група експерти е по-надеждно от мнението на отделния експерт, т.е. от индивидуалното мнение.

Методът се използва при решаване на проблеми, характеризиращи се с висока степен на неопределеност.

Експертната оценка е не точно истинската стойност на оценяващия параметър, а някаква "обществена гледна точка" за този параметър, зависеща от нивото на научно-техническите знания на обществото за предмета на изследване.

Експертите оценяват предлагани алтернативи, раздадени като анкети. Друга група или индивид взема решение на база на анализа на оценките. Дава се различно тегло на мненията на експертите чрез коефициенти. Тези коефициенти могат да определят самите експерти, като оценяват себе си и другите.

Например оценката на качеството на промишлено изделие представлява сума от оценките на различни признаци на изделието – социални (ниво на потребност), функционални (съответствие на предназначението), икономически, естетически, ергономични и др. Друг пример е експертна оценка за ефективността на туристическата дейност у нас или в друга страна.

8.4. Метод "Делфи"

Този метод представлява следваща стъпка в развитие на метода на експертните оценки. Предложен е от американския изследовател Хелмер.

Основната идея на метода е: критиката влияе благотворно на експерта, ако психологически не е свързана с персонална конфронтация.

Цялата дейност по оценяването се провежда под ръководството на отделна управляваща група, в която влизат системен аналитик и лице, вземащо решение. Анонимността на експертите се запазва до края на работата. Оценката на алтернативите се провежда на няколко тура, като след всеки тур експертите се запознават с резултатите от предшестващия тур (т.е. използва се обратна връзка) и те могат да си коригират мнението, т.е. не само да критикуват, но и да се вслушат в критиката. Така се отстраняват психологическите трудности, свързани с персонална критика. Чрез редица процедури се осреднява и обективизира мнението им.

8.5. Метод на дървото на целите – графичен метод

За първи път идеята за този метод е предложена от Чърчмън във връзка с проблеми за вземане на решения в промишлеността.

Терминът дърво подсказва използването на йерархична структура, получена чрез разделяне на общата цел на подцели, а те на свой ред се разделят на по-детайлни съставляващи, а именно нови подцели, функции и др.

По-късно идеята е развита и от Глушков, който предлага термина "прогностичен граф". При това дървото представлява свързан граф, върховете му са целите, а ребрата – връзка между целите. Основно изискване към дървото е да няма цикли. Дървото представлява главен инструмент за обвързване на целите на високо равнище със средствата за достигането им на ниско производствено равнище.

Забавен пример е показан на следващата фигура, която представлява дърво на решенията за "Посрещане на Нова година" (фиг. 1.22).



Фиг. 1.22. Пример на дърво на целите

8.6. Морфологични методи – метод на морфологичния анализ

Методът на морфологичния анализ е предложен от швейцарския астроном Ф. Цвики. Представлява прост и ефективен метод за генериране на алтернативи. Състои се в определяне на всички независими променливи на проектираната система и съставяне на списък, определяне на възможните стойности на тези променливи и създаване на алтернативи чрез комбинации на всички възможни съчетания на тези стойности.

Да разгледаме например разработка на система за телевизионна връзка. Да направим списък на възможните независими променливи и възможните им стойности.

Независима променлива	Стойност на променливата
1. *Цвят на изображението*	Черно-бяло Едноцветно (с всички оттенъци на синьо-бяло) Двуцветно Трицветно ... Седемцветно
2. *Размерност на изображение*	Плоско изображение Обемно изображение
3. *Градации на яркостта*	Непрекъснати Дискретни (цифрови)
4. *Звуков съпровод*	Без звук Моно Стерео
5. *Обратна връзка*	Без обратна връзка С обратна връзка

Тази таблица поражда 8 x 2 x 2 x 3 x 2 = 192 различни възможни системи.

Един от проблемите на морфологичния анализ е да се намалят комбинациите при увеличаване броя на променливите. Решава се с налагане на ограничения комбинациите да имат смисъл. Това позволява да се отхвърлят варианти, неподлежащи на разглеждане.

8.7. Синектика

Синектиката е предназначена за генериране на алтернативи чрез асоциативно мислене, чрез търсене на аналогия на поставената задача.

За разлика от мозъчната атака тук целта не е да се генерират голямо количество алтернативи, а малко, дори единствена алтернатива. Ефективността на синектиката е била демонстрирана при решаване на конкретни технически проблеми като например: про-

ектиране на усъвършенстван нож за отваряне на консерви, намиране на прост принцип на устройство за задвижване с постоянна ъглова скорост, разработване на херметична закопчалка за костюм на космонавт. Известен е случай на синектично решение от по-общ икономически характер, а именно: да се разработи нова продукция с потенциал за годишни продажби от 300 милиона долара. Пример за такова решение е дезодорантът "рол-он".

Същност на метода. Сформира се група от 5 – 7 души, подбрани по гъвкавост на мисленето, с практически опит, като се предпочитат хора, които са си сменяли професията и специалността, по психологическа съвместимост, общителност, подвижност. Изработват се навици за съвместна дейност, провежда се системно обсъждане на аналогии с подлежащия на решение проблем, спонтанно възникващи в хода на беседите. Освен пряко, косвено и условно подобие се използват и чисто фантастични аналогии. Синектиката придава особено значение на аналогиите, породени от двигателни усещания.

Хората, участващи в групата, могат да изпитат обаче психологически затруднения. Те понякога изпитват угризение на съвестта, че получават заплата за приятно прекарване на времето. Други започват да се считат за многознайковци, трети са обхванати от психическа умора.

Характерно за създаването на група синектици е продължителното им обучение – около 5 – 6 години при използване на ¼ от работното им време.

Резултатът от работата на една синектична група е намиране решение примерно на 4 неголеми и 2 големи проблема.

8.8. Делови игри

Делови игри се нарича имитационно моделиране на реална ситуация, при което участниците в играта се държат така, като че ли наистина изпълняват определена роля, като самата реалност се заменя с някакъв модел.

Примери за делови игри са: щабни игри и маневри на военните, работа на тренажори за различни технически системи – например за атомна електроцентрала, административни игри и др.

Независимо че се използват за обучение, деловите игри могат да се прилагат за експериментално генериране на алтернативи особено при слабо формализирани ситуации. Освен участниците важна роля в

деловите игри изпълняват контролно-арбитражни групи, управляващи модела, регистриращи хода на играта и обобщаващи резултатите ѝ.

8.9. Системата човек – машина и изборът

Етапът на избор, т.е. вземане на решение, е само съставна част на управлението.

Основна причина за възникване на системния анализ е необходимостта да се решават сложни проблеми, да се управляват сложни системи.

При сложни случаи, особено съчетани с недостиг на време или други екстремни ситуации, човекът, който взема решения, се нуждае от квалифицирана помощ за оценка на възможните алтернативи. За тази оценка е необходима помощта на експерти: всеки военачалник има щаб, ректор на ВУЗ или директор на научна организация – научен съвет, министърът – колегиум, а в отделни случаи – еднократен експертен съвет за разглеждане на конкретен случай.

Съществуват обаче предели на човешките способности за възприемане и обработка на информация. Оказва се, че човек може да оперира само с неголям брой операнди – понятия, идеи, модели, алтернативи и др. Психолозите определят границата на човешките възможности със "закона 7 ± 2". Освен това, сблъсквайки се с многокритериална задача, експертът често проявява непостоянство, неувереност, нелогичност, стремеж към рязко опростяване на задачата. В редица случаи играе роля и малкото бързодействие на нервната и двигателната система на човека.

Във всички подобни отношения възможностите на компютрите превъзхождат способностите на човек и възниква простата, но много плодотворна идея да се създаде система, която обединява достойнствата на човека и машината и компенсира техните недостатъци.

Според Норберт Винер компютърът е много добър при бърза работа, извършвана по еднозначен начин над напълно достъпни, известни данни. Но компютърът не може да се сравнява с човека при обработка на още неизкристализирали данни. "Ако това се нарича интуиция, не бих казал, че интуицията е недостъпна за компютъра, но тя е по-малка в него. Затова е неизгодно икономически да се заставя машината да прави това, което човек прави много по-добре."

Едва ли е възможно да се създаде универсална система за всички случаи в живота. Затова на практика се отива към създаване на проблемно ориентирани системи.

За вземане на решение се използват пакети приложни програми – например за статистическа обработка на данни, за решаване на оптимизационни задачи и др.

Следващ етап, който в момента се развива бурно, е създаване на бази знания и експертни системи, създаване на изкуствен интелект.

Задачи към първа глава

1. Съставете списък с примери за различни модели на процеса **запаметяване**.
2. Да се определи коефициентът на предаване на система, съдържаща паралелно разклоняваща се връзка съгласно фигурата от подт. 3.2.4.
3. Да се определи коефициентът на предаване на система, обхванатата от отрицателна обратна връзка (ООВ), при условие че коефициентът на предаване на системата без обратна връзка е 100 и коефициентът на отрицателната обратна връзка е: а) 0,01 и б) 0,2.
4. Да се определи коефициентът на предаване на съставна система, състояща се от три последователно свързани системи, втората от които е обхванатата от обратна връзка: а) отрицателна и б) положителна.

ВТОРА ГЛАВА

ЕЛЕМЕНТИ НА ТЕОРИЯ НА ИНФОРМАЦИЯТА

Въведение

Проблемът за научна организация на управлението в стопанската дейност е един от най-актуалните. За осъществяване на добро управление е необходимо системата за управление да бъде осигурена с нужната информация, като процесите на събиране, съхранение, обработка и предаване на информация бъдат организирани рационално. Икономисти и статистици, които се занимават с тези въпроси, са се сблъскали и с трудностите при решаването им. Те знаят, че преодоляването им не може да се извърши емпирично. Необходима е теоретична база. Същевременно мнозина от тях с течение на времето осъзнават възможностите на една на пръв поглед отдалечена от икономиката научна област, каквато е теория на информацията, чиито резултати се използват както в различни научни направления, така и в практическата дейност.

Става ясно, че теория на информацията може да се използва и за икономически изследвания, за усъвършенстване на отчетността, анализа, планирането и оперативното управление на процесите на производството.

Официална дата на "раждането" на теория на информацията се счита 1948 г., когато са публикувани работите на Клод Шенън "Математическа теория на връзките" и на Норберт Винер "Кибернетика". Разбира се, доста преди тази година в различни научни области се е формирал комплекс от идеи, залегнали впоследствие в основите на съвременната теория на информацията.

Преди всичко теория на информацията е построена на базата на теория на вероятностите и математическата статистика – на техните понятия и методи.

Идеята за връзката между вероятност и информация най-напред е възникнала у специалиста по математическа статистика Р. А. Фишер. Голям принос в теория на информацията имат също учените Н. С. Бернщайн, Колмогоров, Хинчин.

Някои идеи, изиграли съществена роля при формиране на теория на информацията, са се зародили у физици, работещи над проблемите на термодинамиката и статистическата механика. В частност при изследване на процесите на преобразуване на топлинната енергия в механична и обратно се оказва, че в затворена физическа система при неизменно общо количество енергия настъпват необратими процеси при прехода от "организирана" механична енергия (например енергията на буталото в цилиндъра) в "неорганизирана" топлинна енергия на хаотичното движение на молекулите. Затова още през първата половина на миналия век за измерване на тези необратими процеси е въведено понятието термодинамична ентропия.

Обаче най-съществен принос в изграждане на теория на информацията е направен от специалистите по теория на електрическите връзки, а най-благоприятна почва за развитие на теория на информацията става решаването на практически проблеми по предаване на съобщения по канали за връзка.

С тези проблеми най-напред се сблъсква изобретателят на електрическия телеграф Самюел Морз. Неговото изобретение предполага наличие на канал за връзка между източника на съобщение и неговия получател. За да бъде предадено съобщението, то се кодира с помощта на три условни знака – пауза, точка и тире, превърнати от предавателя в електрически сигнали. Предаването на съобщение дори чрез такава проста система е свързано с редица трудности. Получените от получателя съобщения се изкривяват от характеристиките на канала за връзка и от различните видове шумове по канала и това намалява скоростта на предаване на съобщенията. Оттук възниква необходимостта при тези ограничения да се постигне максимална скорост при предаване на съобщенията и осигуряване на зададена надеждност на връзката. Тази задача е стояла и пред Морз, и пред Шенън, работейки над теория на информацията.

Още Морз и работещите след него изследователи установили, че скоростта на предаване може да се повиши чрез рационална система на кодиране. От средата на миналия век тези проблеми стават обект на математически анализ.

Голям принос има статията на американския учен Хартли "Предаване на информация", публикувана през 1928 г. Известният американски учен Дж. Пирс в книгата си "Символи, сигнали, шумове" пише: "Проблемът на връзката Хартли е изложил по един от тези своеобразни начини, когато формулировката е толкова проста, че за създаването ѝ трябва години да си напрягаш ума, а след това всичко изглежда съвсем очевидно." Хартли представя източника на съобщение като притежател на набор от символи (например буквите на азбуката), от които той създава последователности. Такова представяне е ценно преди всичко със своята универсалност. Хартли забелязва, че всяко случайно събитие може да създаде подобни последователности. Поради това той предлага количеството информация, съдържащо се в съобщението, да се измерва с логаритъма на броя възможни последователности от символи, които биха могли да бъдат избрани, и доказва, че

$$H = n \log S,$$

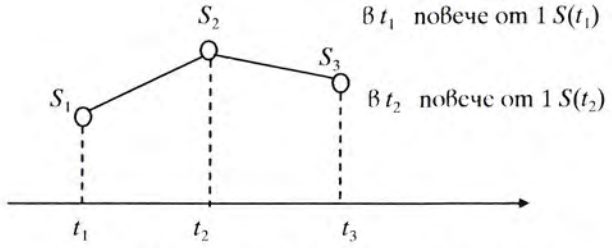
където n е броят избрани символи, а S – броят различни символи в набора. При това по принцип е направено допускането, че символите се избират независимо един от друг и изборът на който и да е от тях е равновероятен. Следващата стъпка, направена от Шенън и Винер, състояща се в обобщаване на резултатите на Хартли, довежда до възникване на теория на информацията.

По-късно работите на Шенън и Винер получават широк научен отзвук. От тяхното изложение старата теория на връзките придобива толкова обща математическа форма, че мисълта за разширяване на сферата ѝ на приложение се налага от само себе си. Тази мисъл пропагандира Н. Винер, който е използвал получените резултати за изразяване на редица общи закономерности в процесите на управление в системи с различна природа и разглежда теория на информацията като органична част от основаната от него кибернетика.

1. Трансформация в системите. Видове трансформации. Елементарни преходи

Трансформацията е понятие, с което се описва поведението на системите.

Трансформацията описва последователната смяна на състоянието на системата по скалата на времето t.



Фиг. 2.1. Представяне на трансформация

На фиг. 2.1 е описана трансформацията само на едно свойство (показател), за да се изрази то чрез равнинна фигура.

Трансформации могат да бъдат задавани, когато в два последователни момента t_1 и t_2 има повече от едно възможни състояния.

По-долу е дадено схематично описание на трансформация в два последователни момента.

$$T = \begin{matrix} s(t_1) \\ \downarrow \\ s(t_2) \end{matrix} = \downarrow \begin{pmatrix} b & d & e \\ & & \\ a & c & f \end{pmatrix}$$

Трансформацията описва преминаване на състоянието $s(t_1)$ в състоянието $s(t_2)$.

Както се вижда, има няколко възможни състояния за:

$$s(t_1) - b,\ d,\ e$$

$$s(t_2) - \text{a},\ c,\ f$$

Стрелката $\downarrow$ означава трансформация. Тя отразява прехода и е връзката между предходен и следващ момент от време.

1.1. Детерминирана трансформация

Дотук разгледахме случай, при който, ако системата се намира в едно известно състояние, тя преминава в друго определено състояние, т.е. показаната трансформация отразява функционална детерминираност на прехода.

Например поведението на тригер (логически елемент с две устойчиви състояния 0 и 1) може да бъде описано чрез трансформация, която да показва възможните състояния на изходите му в зависимост от входните въздействия.

1.2. Трансформация с неопределеност

$$T = \begin{matrix} s(t_1) \\ \downarrow \\ s(t_2) \end{matrix} = \downarrow \begin{pmatrix} b & d & e \\ & & \\ a & c & f \vee g \vee h \end{pmatrix},$$

където "$\vee$" означава изключващо "или".

Трансформацията с неопределеност се характеризира с това, че едно от възможните ѝ състояния на свой ред преминава в едно от няколко възможни, но взаимно изключващи се състояния. Тези състояния се наричат ансамбъл на възможните изходи.

1.3. Трансформация със стохастична[1] неопределеност

$$T = \begin{matrix} s(t_1) \\ \downarrow \\ s(t_2) \end{matrix} = \downarrow \begin{pmatrix} b & d & e \\ & & \\ a & c & f \vee g \vee h \end{pmatrix}.$$
$$P_f \quad P_g \quad P_h$$

Трансформацията със стохастична неопределеност се характеризира с това, че към предходния случай се въвеждат вероятности за появата на всеки от възможните изходи – p_f, p_g, p_h.

Например вероятностите могат да бъдат:

$$p_f = 0.25,\ p_g = 0.55,\ p_h = 0.20.$$

[1] Стохастиката (от гръцки – предполагаем, зависещ от случая или умеещ да отгатва) обединява теория на вероятностите и математическа статистика, както и техните приложения.

Маркираната с пунктир област се нарича събитие. Събитие, привеждащо елементите на една съвкупност в нови състояния в теорията на вероятностите и в статистиката, се означава с термина опит. Ако означим с α събитието, а с e – опитът, то $\alpha \equiv e$.

При зададените вероятности събитието (опита) можем да изобразим в следната форма:

$$\alpha \equiv e = \begin{pmatrix} f & g & h \\ & & \\ 0.25 & 0.55 & 0.20 \end{pmatrix}.$$

Това описание е прието да се нарича крайна схема на събитието (опита).

Пример: Да предположим, че при планиране на трудовите ресурси се интересуваме от попълването им от контингента лица, завършващи прогимназия в дадена година, например 2005. Като опростим ситуацията, можем да разделим лицата, завършващи прогимназия, примерно на три групи:

- лица, които постъпват на работа;
- лица, които продължават образованието си в средно училище;
- лица, които продължават образованието си в техникум.

Индивидуалният избор на всеки се определя от множество конкретни фактори. В крайна сметка всеки избира един от изброените варианти. Статистиката показва какъв процент от общия брой лица какъв вариант е избрал. Да предположим, че първи вариант (f) избират 25 %, втори вариант (g) – 55 %, и трети вариант (h) – 20 %. Или с други думи, първи вариант се избира с вероятност 0.25, втори вариант – с вероятност 0.55, и трети вариант – с вероятност 0.20.

По-нататък при разглеждане на понятието ентропия ще се върнем отново към този пример.

Крайната схема на едно събитие има следното важно свойство: при изпитанието ѝ един и само един от изходите задължително настъпва и сумата от вероятностите на всички изходи е равна на 1.

$$\Sigma p_i = 1.$$

В статистиката опитите могат да се повтарят n пъти при еднакви условия, където n е достатъчно голямо. Вероятността p_i да настъпи i-ият изход от опита е:

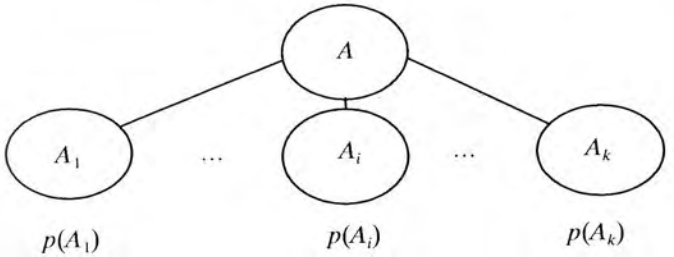
$p_i = n_i/n$, където n_i е броят опити с i-ия изход към общия брой опити n.

В общия случай едно събитие се записва чрез крайната си схема:

$$A = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & \dots & A_i & \dots & A_k \\ p(A_1) & p(A_2) & & p(A_i) & & p(A_k) \end{pmatrix},$$

където $A_1 - A_k$ са възможните изходи от опита, а $p(A_1) - p(A_k)$ са вероятностите за поява на всеки от тях.

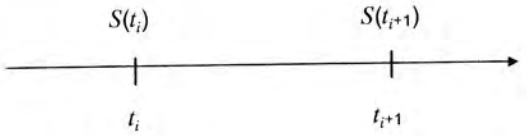
Друг начин за представяне на събитието е чрез "дърво" (фиг. 2.2).



Фиг. 2.2. Представяне чрез "дърво"

1.4. Представяне на трансформациите

В по-общ вид състоянията на системата в два последователни момента t_i и t_{i+1} се представят чрез множества на допустимите състояния (фиг. 2.3),



Фиг. 2.3. Представяне на трансформация в общ вид

като множеството на допустими състояния в t_i е:

$$\{a_f\} \text{ при } (f = 1, 2, \dots, F),$$

а множеството на допустими състояния в t_{i+1} е:

$$\{b_h\} \text{ при } (h = 1, 2, \ldots, H).$$

Множествата $\{a_f\}$ и $\{b_h\}$ в този случай са крайни и дискретни.

Трансформацията е описание на преходите $\{a_f\} \to \{b_h\}$, а именно:

$$T = \downarrow \begin{pmatrix} \{a_f\} \\ \{b_h\} \end{pmatrix} \quad (f = \overline{1,F}; \quad h = \overline{1,H}).$$

Зададената по този начин трансформация представлява прехода от елемент на едното множество в елемент на другото множество. Възможните изходи на предшестващото събитие се наричат операнди, а $\{A_f\}$ – множество на операндите. Възможните изходи на следващото събитие се наричат образи, а $\{b_h\}$ – множество на образите.

Трансформацията представлява отражение на операнди в образи. Тя описва всички възможни преходи, но системата извършва единединствен преход. По-долу е посочен пример на трансформация, при която множествата на операндите и образите са идентични.

$$\{a_f\} \equiv \{b_h\} = \{a, b, c, d, e\}$$

$$T = \downarrow \begin{pmatrix} a & b & c & d & e \\ b & c & d & e & a \end{pmatrix}$$

описва преходите $\{a_f\} \to \{b_h\}$.

Други начини за представяне на трансформацията са:

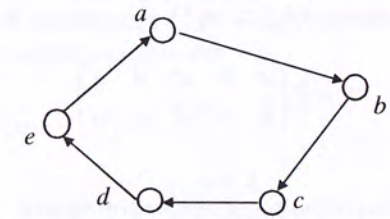
- матрично представяне (фиг. 2.4)

Стрелката отразява прехода и е връзката между предходен и следващ момент от време.

↓	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*
a	0	0	0	0	1
b	1	0	0	0	0
c	0	1	0	0	0
d	0	0	1	0	0
e	0	0	0	1	0

Фиг. 2.4. Матрично представяне на трансформация

- представяне чрез кинематичен граф (фиг. 2.5)



Фиг. 2.5. Представяне на трансформация чрез кинематографичен граф

Графът е математическа конструкция, която използва два типа елементи – върхове и ребра. Ребрата могат да бъдат насочени и ненасочени. При описание на трансформациите се използват само насочени ребра.

- формулно представяне

$$T = \downarrow \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 11 & 12 & 13 \end{pmatrix} \; T = \downarrow \begin{matrix} n \\ n+1 \end{matrix}.$$

Формулата представлява алгоритъм за изчисление на образите при известни операнди.

1.5. Видове трансформации

1.5.1. Затворена детерминирана трансформация

Съществуват два случая:

- случай, когато двете множества са идентични ($\{a_f\} \equiv \{b_h\}$), т.е. елементите от множествата на операндите и на образите съвпадат:

$$T = \downarrow \begin{pmatrix} a & b & c & d & e \\ b & c & d & e & a \end{pmatrix}$$

- случай, когато двете множества не са идентични ($\{a_f\} \not\equiv \{b_h\}$), като множеството на образите е подмножество на множеството на операндите ($\{b_h\} \subset \{a_f\}$),

$$T = \downarrow \begin{pmatrix} a & b & c & d & e \\ b & b & d & e & a \end{pmatrix}$$

1.5.2. Отворена детерминирана трансформация

Трансформация, при която двете множества не са идентични ($\{a_f\} \not\equiv \{b_h\}$) и множеството на образите не е подмножество на множеството на операндите ($\{a_f\} \not\subset \{b_h\}$).

$$T = \downarrow \begin{pmatrix} a & b & c & d & e \\ b & c & f & e & a \end{pmatrix}$$

1.5.3. Еднозначна трансформация

Трансформация, при която на всеки операнд съответства само един образ. Тя бива:

- едностранно еднозначна

$$T = \downarrow \begin{pmatrix} a & b & c & d & e \\ b & b & d & e & a \end{pmatrix}$$

- взаимно еднозначна

$$T = \downarrow \begin{pmatrix} a & b & c & d & e \\ b & c & d & e & a \end{pmatrix}.$$

1.5.4. Неоднозначна трансформация

Тя бива със:

- принципна неопределеност

$$T = \downarrow \begin{pmatrix} a & b & c \\ b \vee c & c & e \end{pmatrix}.$$

При тази трансформация преходът от състояние A в момента t_i към състоянието в момента t_{i+1} не е определен.

- стохастична неопределеност

$$T = \downarrow \begin{pmatrix} a & b & c \\ b \vee c & c & e \end{pmatrix}$$

$$p_b = 0.4$$

$$p_c = 0.6$$

$$p_b + p_c = 1$$

1.5.5. Безкрайна трансформация

Това е трансформация, при която операндите и образите са безкрайни множества.

$$T = \downarrow \begin{pmatrix} a & b & c & d & \ldots \\ b & c & d & e & \ldots \end{pmatrix}.$$

Безкрайната трансформация бива три вида. Те се характеризират с това, че при тях съответно:

- множествата на операндите и на образите са безкрайни;

$$\{a_f\} \text{ и } \{b_h\} \text{ при } F \to \infty \text{ и } H \to \infty$$

- множеството на операндите е безкрайно, а на образите е крайно;

$\{a_f\}$ при $F \to \infty$ и $\{b_h\}$ при H – крайно

- множеството на операндите е крайно, а на образите е безкрайно.

$\{a_f\}$ при F – крайно и $\{b_h\}$ при $H \to \infty$

2. Entropията като мярка за неопределеност при трансформациите с неопределеност

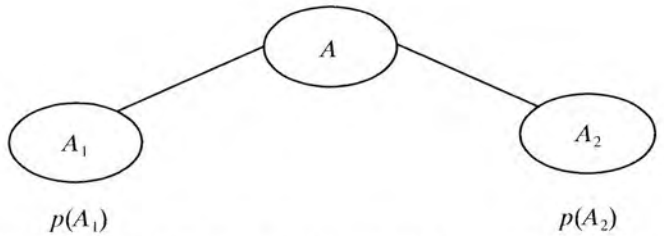
При разглеждане на трансформациите с неопределеност и поточно със стохастична неопределеност изразихме събитието A посредством ансамбъла на неговите възможни изходи $A_1, ..., A_k$ и вероятностите $p(A_1), ..., p(A_k)$ за настъпването на всеки от тях.

Както отбелязахме по-рано, сумата от вероятностите на всички изходи е равна на 1. Но в ансамбъла могат да участват различен брой възможни изходи. При $k = 1$ изходът е предопределен. Тогава неопределеността е равна на нула. Но при $k = 2$ тя е различна от нула, тъй като се появява възможност за избор. С увеличаване на броя на възможните изходи неопределеността очевидно ще расте. Следователно мярката за неопределеност може да се разглежда като функция от броя на възможните изходи, т.е. $f(k)$. Броят на възможните изходи характеризира също тяхното разнообразие. Затова в теория на информацията и кибернетиката неопределеност и разнообразие са синоними. В известен смисъл неопределеността и нейните изменения са всъщност предмет на теория на информацията.

Мярката за измерване на неопределеност на събитие Клод Шенън нарича ентропия, използвайки формалното ѝ сходство с термодинамичния аналог.

3. Ентропия на просто събитие. Единична мярка за ентропия. Свойства на ентропията

Да се ограничим първоначално в разглеждането на събитие A с два възможни изхода A_1 и A_2, които се появяват с вероятност $p(A_1)$ и $p(A_2)$ (фиг. 2.6).



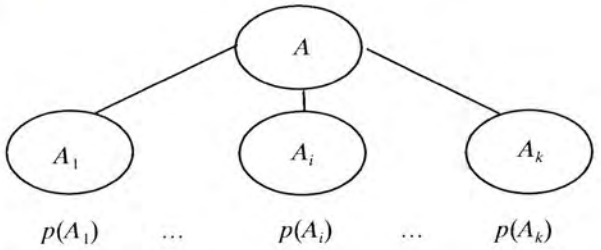
Фиг. 2.6. Представяне на събитие с два възможни изхода

Класически пример за такова събитие е подхвърлянето на монета и отчитането на резултатите от падането ѝ при доста голям брой хвърляния.

Формулата, определяща ентропията на едно събитие с два изхода, е

$$H(A) = -p(A_1)\log p(A_1) - p(A_2)\log p(A_2) = -\sum_{i=1}^{2} p(A_i)\log p(A_i).$$

Ако събитието A има k изхода (фиг. 2.7), неговата ентропия се изразява с формулата



Фиг. 2.7. Представяне на събитие с k възможни изхода

$$H(A) = -\sum_{i=1}^{k} p(A_i)\log\ p(A_i).$$

Примери:

1. Да разгледаме отново събитие с два, и то равновероятни изхода и да изчислим ентропията.

$$A = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 \\ 1/2 & 1/2 \end{pmatrix}$$

$$H(A) = -\sum_{i=1}^{2} 1/2 \log 1/2 = -1/2 \log 1/2 - 1/2 \log 1/2 = -\log 1/2 = \log 2.$$

Получава се $H(A) = \log_2 2 = 1$ bit (бит) при изчисляване с логаритъм при основа 2. Единицата за измерване на ентропия "бит" се използва в изчислителната техника, телекомуникациите и изобщо при използване на логически елементи с две устойчиви състояния.

2. Да изчислим ентропията на събитие с 4 равновероятни изхода. Примери за такова събитие са: едновременното хвърляне на две монети или равномерното разпределение на кандидат-студенти към 4 факултета на едно висше учебно заведение, което в течение на дълъг период е било равномерно.

$$A = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ 1/4 & 1/4 & 1/4 & 1/4 \end{pmatrix}$$

$$H(A) = -\sum_{i=1}^{4} 1/4 \log_2 1/4 = -\log_2 1/4 = \log_2 4 = 2 \text{ bit.}$$

3. Да изчислим ентропията на събитие с 8 равновероятни изхода.

$$A = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & \dots & A_8 \\ 1/8 & 1/8 & \dots & 1/8 \end{pmatrix}$$

$$H(A) = -\sum_{i=1}^{8} 1/8 \log_2 1/8 = -\log_2 1/8 = \log_2 8 = 3 \text{ bit.}$$

Ако вместо логаритъм при основа 2 използваме десетичен логаритъм, определената ентропия се изразява в друга мерна единица, наречена дит. При използване на натурален логаритъм мерната единица е нит. Наложилата се в практиката от техническа гледна точка единица е бит.

4. Да изчислим ентропията на събитие с 4 равновероятни изхода, но с помощта на десетичен логаритъм.

$$A = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ 1/4 & 1/4 & 1/4 & 1/4 \end{pmatrix}$$

$$H(A) = -\sum_{i=1}^{4} 1/4 \lg 1/4 = -\lg 1/4 = \lg 4 = 0{,}6021 \text{ dit.}$$

Като използваме формулата $\log_2 x = 3.32 \lg x$, виждаме, че 2 бита съответстват на 0.6021 дита.

5. Да изчислим ентропията на събитие с 4 изхода с различна вероятност.

$$A = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ 1/4 & 1/6 & 1/3 & 1/4 \end{pmatrix}$$

$$H(A) = -2\,(1/4 \lg 1/4) - 1/6 \lg 1/6 - 1/3 \lg 1/3 = 0{,}5898 \text{ dit.}$$

От приведените примери можем да направим следните изводи за свойствата на ентропията на просто събитие:

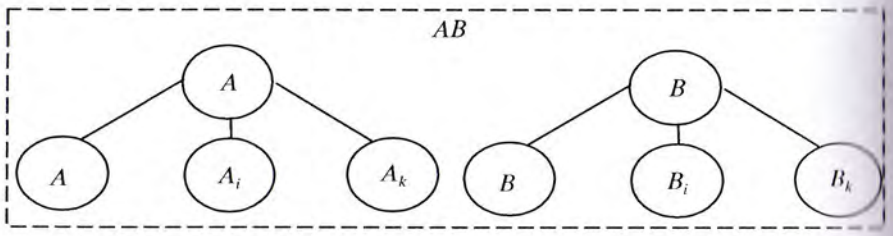
- ентропията зависи от броя на възможните изходи на събитието;
- ентропията зависи от разпределението на вероятностите за поява на изходите на събитието;
- ентропията е максимална при равновероятни изходи;
- ентропията е минимална, но по-голяма от нула, когато опитът има един-единствен изход с вероятност за настъпването му, клоняща към 1. От това следва, че вероятността за друг изход клони към нула, но е различна от нула. Тази уговорка се прави, тъй като log 0 не съществува и за да се запази смисълът на формулата за ентропия, се счита, че вероятността на невъзможното събитие се запазва, като е макар и много малка.

4. Ентропия на сложно събитие, съставено от две независими прости събития

Да разгледаме сложното събитие AB, съставено от две независими събития A и B (фиг. 2.8). Пример за такова събитие е едновременното хвърляне на два зара.

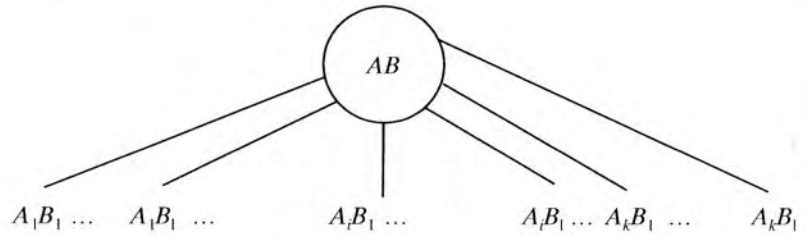
В теория на вероятностите събитията се наричат независими, ако вероятността на кое да е от тях не се изменя при осъществяването на другото събитие.

Сложно събитие е събитие, което се състои от няколко прости събития, настъпващи едновременно или последователно във времето. Ако сложното събитие се състои от независими прости събития, неговата вероятност е равна на произведението на вероятностите на съставящите го събития.



Фиг. 2.8. Представяне на сложно събитие, съставено от две независими събития

Ако разглежданото събитие A има k изхода, а събитието B има l изхода, събитието AB има $k \,.\, l$ изхода (фиг. 2.9). Тази стойност се получава, като се комбинират всеки от k възможни изхода на A с всеки от l възможни изхода на B.



Фиг. 2.9. Изходи на сложното събитие

Допускаме, че неопределеността на сложното събитие AB е равна на сумата от неопределеностите, характеризиращи отделно A и B, т.е., че

$$H(AB) = H(A) + H(B), \tag{1}$$

което ще бъде доказано по-долу.

Тъй като ентропията на всяко от събитията е функция на броя възможни изходи, можем да напишем

$$H(A) = f(k)$$
$$H(B) = f(l)$$
$$H(AB) = f(k \,.\, l).$$

Като заместим в (1), получаваме, че изследваната функция трябва да удовлетворява условието

$$f(k \,.\, l) = f(k) + f(l).$$

Това условие се удовлетворява само от логаритмичната функция

$$\log(k \,.\, l) = \log(k) + \log(l).$$

Всяко от събитията A и B е просто събитие. Формулите за ентропията на всяко от събитията са

$$H(A) = -\sum_{i=1}^{k} p(A_i) \log p(A_i);$$

$$H(B) = -\sum_{j=1}^{l} p(B_j) \log p(B_j).$$

Аналогично за ентропията на сложното събитие, изобразено на фигурата, можем да напишем

$$H(AB) = -\sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{l} p(A_iB_j) \log p(A_iB_j).$$

Тъй като A и B са независими събития, съгласно правилото за умножение на вероятностите на независими събития

$$p(A_i \cap B_j) = p(A_i)\, p(B_j).$$

Затова за сумата на съответните членове на израза $H(AB)$, изменящи се по $j = 1,2, ..., l$ при $i = \text{const}$, се получава изразът

$$-\sum_{j=1}^{l} p(A_iB_j) \log p(A_iB_j) = -\sum_{j=1}^{l} p(A_i)\, p(B_j)[\log p(A_i) + \log p(B_j)] =$$

$$= -p(A_i) \sum_{j=1}^{l} p(B_j) \log p(A_i) - p(A_i) \sum_{j=1}^{l} p(B_j) \log p(B_j).$$

Тъй като $\sum_{j=1}^{i} p(B_j) = 1$ и

$$-\sum_{j=1}^{i} p(B_j) \log p(B_j) = H(B),$$ горният израз добива вида

$$-p(A_i) \log p(A_i) + p(A_i)\, H(B).$$

След това се извършва сумиране по $i = 1, 2, ..., k$ и като се вземе предвид, че

$$\sum_{i=1}^{k} p(A_i) = 1 \text{ и } -\sum_{i=1}^{k} p(A_i) \log p(A_i) = H(A),$$

се получава

$$H(AB) = -\sum_{i=1}^{k} [p(A_i) \log p(A_i) - p(A_i)\, H(B)] =$$

$$= -\sum_{i=1}^{k} p(A_i) \log p(A_i) + \sum_{i=1}^{k} p(A_i)\, H(B) = H(A) + H(B).$$

С това доказахме първоначалното допускане, а именно, че ентропията на сложно събитие, съставено от две независими прости събития, е равна на сумата от ентропиите на двете събития

$$H(AB) = -\sum_{i=1}^{k} p(A_i) \log p(A_i) - \sum_{j=1}^{i} p(B_j) \log p(B_j) = H(A) + H(B).$$

5. Условна ентропия

На практика независими явления се срещат сравнително порядко. При повечето задачи от изследователски и управленски характер се налага да се съобразяваме със зависимостите между явленията и качеството на резултата се определя от пълнотата на отчетените връзки между факторите. Затова сега ще разгледаме случая, когато събитията са зависими: например изходът на събитие B зависи от изхода на събитие A.

Пример за зависими събития е последователното извличане на топки от урна без връщане в урната. При първоначално равно количество черни и бели топки вероятността за извличане на бяла топка нараства, ако преди нея е била извадена черна топка.

Степента на връзка между събитията е различна. Висша степен на зависимост е, когато изходът на едно изпитание еднозначно предопределя изхода на друго. Тогава зависимостта става функционална. Например, ако в урната има само две топки – една бяла и една черна, извличането на бяла топка напълно предопределя следващо извличане на черна топка.

За количествено определяне на степента на зависимост се използва понятието условна вероятност. Под условна вероятност на събитието B при условие A се разбира вероятността да настъпи събитието B, когато е настъпило събитието A.

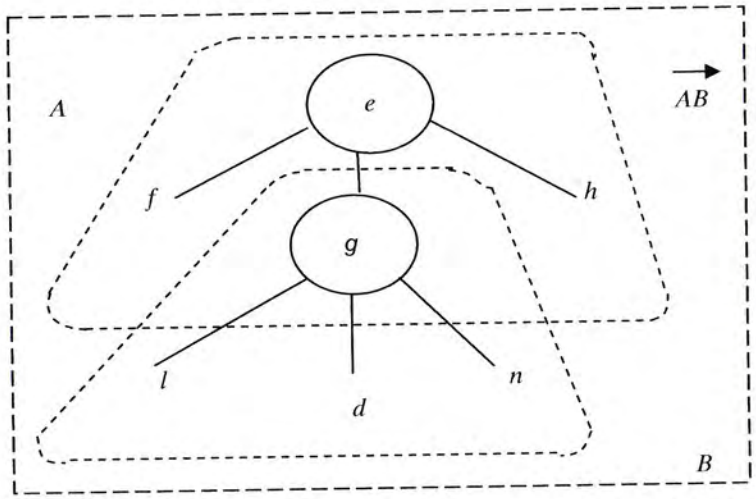
Да разгледаме сложно събитие, състоящо се две зависими събития, представени чрез трансформациите T_1 и T_2.

$$T_1 = \begin{matrix} s(t_1) \\ \downarrow \\ s(t_2) \end{matrix} = \downarrow \begin{pmatrix} b & d & e \\ a & c & f \vee g \vee h \end{pmatrix}$$

$$T_2 = \begin{matrix} s(t_1) \\ \downarrow \\ s(t_2) \end{matrix} = \downarrow \begin{pmatrix} e & b & f & g & h \\ a & c & b \vee l & d \vee l \vee n & d \vee b \vee k \end{pmatrix}$$

$$A \equiv e = \begin{pmatrix} f & g & h \\ 0.25 & 0.55 & 0.20 \end{pmatrix} \qquad B \equiv g = \begin{pmatrix} l & d & n \\ 0.10 & 0.35 & 0.55 \end{pmatrix}$$

Събитието A от първата трансформация и събитието B от втората трансформация са изразени на фигурата с крайните си схеми, на които са посочени конкретни примерни стойности за вероятностите. На фиг. 2.10 двете събития са представени чрез "дърво".

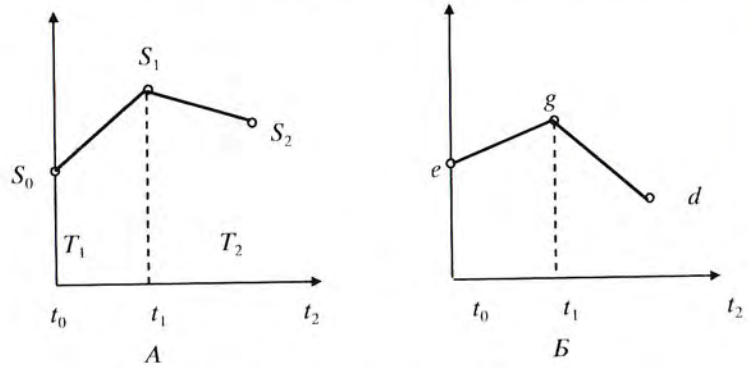


Фиг. 2.10. Представяне на две свързани събития чрез "дърво"

Да определим вероятността за настъпване на изход d на събитието B в следните два случая:

случай 1: преди да е настъпило събитието g и то е само вероятно (фиг. 2.11 А);

и случай 2: след настъпване на събитието g (фиг. 2.11 Б).



Фиг. 2.11. Графично представяне на всяко от двете свързани събития

Случай 1: $p(g) = 0{,}55$

$$P_1(d) = p(g)\,p(d) = 0{,}55 \,.\, 0{,}35 = 0{,}1925.$$

Случай 2: $p(g) = 1$

$$P_2(d) = p(g)\,p(d|g) = 1 \,.\, 0{,}35 = 0{,}35,$$
$$P_2(d) > P_1(d),$$

където $p(d|g)$ е условна вероятност за изход d на събитието B при настъпилия възможен изход g на събитието A . $p(d|g)$ може да се запише с $p_g(d)$.

От изразите се вижда, че вероятността за изход d на събитието B се увеличава след настъпване на изход g на събитието A, т.е. убеждението за вероятния изход на A повишава вероятността на предположението относно изхода на B.

От теория на вероятностите знаем, че ако се провежда опит, при който от общия брой K равновероятни изходи N са благоприятни за събитието A, а от тях M са благоприятни за събитието B, условната вероятност на B при условие A е

$$p(B|A) = M/N$$

$$p(AB) = M/K = N \,.\, M/K.N = p(A)\,p(B|A).$$

В общия случай, когато A има изходи $A_1, ..., A_k$, а B – изходи $B_1, ..., B_l$, условната вероятност

$$p(A_iB_j) = p(A_i)\,p(B_j|A_i).$$

Да си припомним израза за ентропия на две независими събития:

$$H(AB) = -\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{l} p(A_iB_j)\log p(A_iB_j).$$

Да определим на негова база ентропията на взаимосвързаните събития $\overrightarrow{AB}$. Стрелката е знак за зависимост на събитията, т.е. B зависи от A. Да заместим $p(A_iB_j)$ с израза

$$p(A_iB_j) = p(A_i)\,p(B_j|A_i)$$

и да извършим сумиране само по $j = 1, 2, ..., l$, като $i = \text{const}$.

$$\sum_{j=1}^{l} p(A_i B_j)\log p(A_i B_j) = \sum_{j=1}^{l} p(A_i)\, p(B_j \mid A_i)\log[p(A_i)\, p(B_j \mid A_i)] =$$

$$= \sum_{j=1}^{l} p(A_i)\, p(B_j \mid A_i)[\log p(A_i) + \log p(B_j \mid A_i)] =$$

$$= p(A_i)\sum_{j=1}^{l} p(B_j \mid A_i)\log p(A_i) + p(A_i)\sum_{j=1}^{l} p(B_j \mid A_i)\log p(B_j \mid A_i) =$$

$$= p(A_i)\log p(A_i) - p(A_i)\, H(B \mid A_i),$$

тъй като $\sum_{j=1}^{l} p(B_j \mid A_i) = 1$ и

$$H(B \mid A_i) = -\sum_{j=1}^{l} p(B_j \mid A_i)\log p(B_j \mid A_i),$$

където $H(B|A_i)$ е частна условна ентропия на събитието B при условие A_i.

След това да извършим сумиране по $i = 1, 2, ..., k$. Получаваме

$$H(AB) = -\sum_{i=1}^{k} p(A_i)\log p(A_i) + \sum_{i=1}^{k} p(A_i)\, H(B \mid A_i) = H(A) + H(B \mid A),$$

като $H(B|A)$ е условна ентропия на събитието B при настъпване на A. Тя може да приема стойности в интервала от 0, ако изходът на A напълно предопределя изхода на B, до $H(B)$, ако изходът на A не зависи от изхода на B, т.е

$$H(B) \geq H(B \mid A) \geq 0.$$

Въз основа на горното можем да напишем

$$H(A) + H(B) \geq H(A) + H(B \mid A) \geq H(A).$$

Последната формула показва свойството на ентропията на две зависими събития, а именно, че тя е по-малка или равна на ентропията на две независими събития и по-голяма или равна на ентропията

на първото събитие. Равенството настъпва, когато първото събитие съдържа изцяло информация за второто събитие.

Понятието средна условна ентропия играе важна роля в теория на информацията и има съществено значение за разбиране на възможностите ѝ и за определяне на сферата ѝ на ефективно приложение. Величината $H(B|A)$ е по-важна, отколкото условната ентропия на B при известен отделен изход на A, т.е. $H(B|A_i)$. Щом изход A_i е известен, можем да игнорираме зависимостта на изходите на B от всички други възможни изходи на събитието A независимо какви са били преди това техните вероятности. Но това означава, че $H(B|A_i)$ само в много малка степен отразява връзката между A и B. Като описва зависимостта на изходи B от всички възможни изходи на A, средната условна ентропия $H(B|A)$ отразява тази връзка значително по-добре.

5.1. *Ограничения при приложение на ентропията*

Ентропията като мярка за неопределеност, както и редица важни ситуации, за чието обосноваване тя се използва, се базират на определени допускания. Затова трябва ясно да си представяме характера на тези допускания.

Видяхме, че чрез ентропията можем да характеризираме неопределеността на съвкупност от независими събития. Чрез условните вероятности също се опитахме да опишем зависимостта между събитията. Но тези зависимости са много разнообразни. При функционална, детерминирана зависимост преходите на обекта от едно състояние в друго са напълно предопределени и ентропията при такива преходи е равна на нула. Затова тя е безполезна при описание на такива зависимости. От друга страна, в живота се сблъскваме с множество процеси, в които зависимостта между събитията има повече или по-малко случаен характер. Сред тях има и такива, при които дадено събитие представлява съвсем индивидуален резултат на случайно стечение на обстоятелствата, в чиято последователност не могат да се открият никакви закономерности.

В подобни случаи, тъй като събитията не се повтарят, поне не при сходни условия, не могат да се изчислят условни вероятности, характеризиращи взаимовръзка между събитията. Затова възникват затруднения за изчисляване на ентропията.

Обаче сред голямото разнообразие на случайни процеси може да се определи обширен и много важен клас процеси, при които зависимостите между събитията се подчиняват на определени статистически закономерности. Такъв клас процеси се характеризират със следните свойства:

- процесът се състои от последователност от случайни събития, при които всяко следващо събитие зависи от събитието, което го предшества;
- условните вероятности $p(B_j|A_i)$, описващи зависимостта на следващото събитие от предшестващото, са постоянни;
- вероятността за настъпване на изход B_j на следващото събитие зависи само от изход A_i на предшестващото събитие и не зависи от изхода на други събития, които предшестват "предшестващото" събитие, т.е. паметта на системата е само с една стъпка.

По-долу са приведени допълнителни пояснения по изброените три свойства.

Пример за такъв процес е детската игра "Не се сърди човече". Пионката преминава от един пункт в друг в зависимост от случайния резултат при хвърляне на зарчето. Така от пункт i пионката отива в кой да е пункт j с вероятност p_{ij} независимо как е попаднала в пункт i.

Удобна форма за представяне на процеси с посочените свойства представлява матрицата на условните вероятности от следния вид:

$$\begin{bmatrix} p(B_1|A_1) & p(B_1|A_2) & \dots & \dots & p(B_1|A_k) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p(B_j|A_1) & p(B_j|A_2) & \dots & \dots & p(B_j|A_k) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p(B_l|A_1) & p(B_l|A_2) & \dots & \dots & p(B_l|A_k) \end{bmatrix}.$$

Елементите на матрицата – условните вероятности $p(B_l|A_i)$ – в редовете се подреждат по нарастване на номера на възможните изходи на предшестващото събитие A. Те се наричат операнди. В стълбовете се разполагат по нарастване на номера на възможните изходи на следващото събитие B. Ако A_i и B_j са възможни състояния на обекта, условните вероятности показват вероятността на прехода от състояние A_i в състояние B_j. Затова се наричат преходни вероятности или матрица на прехода.

Процесите, които притежават разгледаните свойства, се наричат марковски случайни процеси по името на известния руски математик Марков, който ги е изследвал най-напред. Клод Шенън прилага въведената от него мярка за неопределеност за характеризиране на процеси, притежаващи марковски свойства. Използването на ентропията в други случаи може да доведе до неправилни резултати и следователно трябва да се избягва.

Макар и на пръв поглед ограниченията да определят един тесен клас процеси, много реални процеси имат в една или друга степен марковски свойства или могат да бъдат определени като такива при съответен подбор на променливите.

Всъщност изискването за постоянство на преходните вероятности ($p(B_j|A_i) = \text{const}$) означава, че в системата има определени статистически закономерности, т.е. въпреки че отделните елементи на системата се движат по случаен начин, цялостното ѝ поведение се характеризира с устойчивост на стойностите на някои параметри за достатъчно дълъг период. Например: завършващите прогимназия и насочването им към работа или обучение.

Следващото свойство като че ли представлява по-голямо ограничение, т.е. събитията обикновено зависят не само от непосредствения предшественик, но и от по-предишните събития. Например поява на буква "к" в текста зависи не само от появата на буква "с" преди нея, но и от буквата, предшестваща "с". В действителност може да се намали влиянието на това ограничение. Ако вероятността за преход от едно състояние в друго се определя по някакъв постоянен начин, например, ако изходът на дадено събитие зависи от m предходни събития и тази зависимост е устойчива, то немарковският процес може да се преобразува в марковски. Това може да се постигне, като последователността от m прости предшестващи събития се разглежда като едно сложно предшестващо събитие. По такъв начин Шенън разглежда вероятността за появата на символи в съобщенията в зависимост не от отделния предшестващ символ, а от тяхна комбинация с различна дължина. При това било забелязано, че с увеличение на дължината на комбинацията бързо намалява изменението на влиянието ѝ върху вероятността за поява на даден символ. Система, в която събитията са случайни, но забележимото влияние на предшестващите събития се разпростира само върху

краен брой следващи събития, се нарича ергодична. В процеси с ергодични свойства може да се счита, че изчезва връзката между събития, отстоящи достатъчно далече едно от друго. В такъв случай един немарковски процес може да се представи като марковски. Това дава възможност да се предсказва поведението на процеса.

От изложеното дотук може да се направи важен извод, а именно, че прилагането на entропията като мярка за неопределеност трябва да се прави внимателно, като се проверява предварително до каква степен изследваният процес съответства на приетите ограничения.

6. Количество информация. Излишък на информационния източник

6.1. Количествено определяне на информацията

Количественото определяне на информацията се базира на обстоятелството, че информацията намалява неопределеността в знанията ни за обекта. Количественото изразяване на неопределеността се прави чрез вероятността за поява на дадено събитие или съобщение.

Клод Шенън въвежда за количество информация формулата

$$I_{A_i} = \log p_1(A_i) - \log p_0(A_i) = \log[p_1(A_i)/p_0(A_i)],$$

където $p_0(A_i)$ е вероятността на изход A_i преди събитието A, а $p_1(A_i)$ е вероятността на изход A_i след осъществяване на събитието A.

Това определение е един от основните елементи в теория на информацията.

Количеството информация при две зависими събития се определя посредством израза

$$I(AB) = H(AB) - H(\overrightarrow{AB}) = H(A) + H(B) - H(A) - H(B \mid A) = H(B) - H(B \mid A).$$

Знаем вече, че ако събитието B не зависи от събитието A, получените данни за изхода на A не изменят entропията на B, т.е. $H(B|A) = H(B)$. Ако изходът на A напълно предопределя изхода на B, то $H(B|A) = 0$.

Формулата показва до каква степен осъществяването на събитието A намалява неопределеността на B. Величината $I(AB)$ може да се интерпретира като мярка за това ново, което ще научим за вероятния изход на B, след като стане известен изходът на A. Тази величина се нарича количество информация относно B, съдържащо се в A, или накратко информация относно B, съдържаща се в A.

6.2. Свойства на информацията, произтичащи от нейното количествено определение

Да разгледаме събитието A. Информацията от всеки от възможните му изходи се измерва с логаритъм от вероятността му. Ако при осъществяване на събитието A се реализира изход A_i, то $p_1(A_i) = 1$.

Тогава

$$I(A_i) = -\log p_0(A_i).$$

Оттук следват следните свойства:

1. Колкото по-голяма е вероятността на даден изход преди осъществяване на събитието, толкова по-малко е количеството информация, получено при реализацията му.

Пример: Ако събитието има два възможни изхода A_1 и A_2 с вероятност $p(A_1) = 0.99$ и $p(A_2) = 0.01$, осъществяването на първи изход би ни дало информация

$$I(A_1) = -\lg 0.99 = 0.005,$$

докато при реализация на втория би се получила стойност

$$I(A_2) = -\lg 0.01 = 2.$$

По такъв начин даденото събитие ни доставя толкова повече информация, колкото по-неочакван (по-малко вероятен) е неговият изход.

Това свойство на въведената мярка за количество информация се съгласува добре с едно от значенията, които обикновено се влагат в

понятието информация. Неочаквано, сензационно събитие, новост ние интуитивно възприемаме като по-голямо количество информация, отколкото съобщение за общоизвестна истина. Ако се получи резултат, имащ вероятност близка до 1, можем да кажем, че почти сме го знаели и то малко ни е научило.

2. По-горе определихме количеството информация, което ще съдържа A_i, като един от изходите на събитието A за самото себе си. Количеството информация, съдържащо се в събитието относно всички възможни негови изходи, ще бъде равно на средната стойност (математическото очакване) на случайната величина, приемаща стойности $-\log p(A_1)$, $-\log p(A_2)$, ..., $-\log p(A_k)$, с вероятности $p(A_1)$, $p(A_2)$, ..., $p(A_k)$. С други думи, средното количество информация, съдържащо се в A относно самото себе си, ще бъде равно на неговата ентропия.

$$I(A) = H(A) = -\sum_{i=1}^{k} p(A_i) \log p(A_i).$$

Получавайки това количество информация относно A, ние ще узнаем всичко за неговия изход. Напълно се отстранява неговата неопределеност. Затова $I(A) = H(A)$ се нарича "пълна" или "най-голяма" информация относно A.

3. Равенството на информацията с ентропията обаче е частен случай. Като получим пълната информация за събитието, което вече се е случило, ние не можем да влияем на неговия изход.

Сведенията за изхода на събитието A имат практическа стойност, ако съдържат информация за друго, свързано с него събитие B, и позволяват да се въздейства на изхода на това събитие.

Затова винаги се стремим да разглеждаме събитието A (или нарочно го организираме) така, че да получим информация за следващото събитие B. По този начин при изследване на физикохимични и геометрични свойства на продукта ние се стремим да определим неговата ефективност в използването въз основа на предварително изучена зависимост на ефективността от свойствата на продукта.

Нерядко характерът на интересуващите ни процеси е такъв, че изобщо не можем да получим пълна информация за изхода му и съдим за него само по данните на повече или по-малко приблизителни измервания. Именно такъв е характерът на много икономически процеси, по силата на което статистическите наблюдения и изследвания най-често дават само непълна, до определена степен на точност

информация. Такива са например процесите на лично потребление и използване доходите на семейството, за които научаваме само по данни от извадки на социологически проучвания.

В количественото определение на информацията, представена с формула $I(AB) = H(B) - H(B|A)$, е изразен относителният характер на информацията като показател на зависимостта между две събития. Според това определение информацията за събитието B, съдържащо се в A, представлява средна стойност на случайната величина $H(B) - H(B|A_i)$, свързана с отделни изходи A_i на събитие A, настъпващи с вероятности $p(A_i)$. Но оттук следва, че от гледна точка на $I(AB) = H(B) - H(B|A)$ не съществува абсолютна информация, а има информация за определено събитие или обект, съдържаща се в друго събитие. Затова количеството информация в никакъв случай не трябва да се отъждествява с ентропията. Ентропията е ценна, защото позволява да се оцени влиянието на събитието A върху събитието B чрез разликата $H(B) - H(B|A)$, т.е. по количеството информация. За правилно разбиране на природата и свойствата на разглежданата мярка за информация е много важно да се изясни, че количеството информация е мярка за отношение, взаимовръзка между явленията, процесите, а не показател за състоянието им.

4. Ако познаването на изхода на A не намалява ентропията на B, т.е. $H(B|A) = H(B)$, то $I(AB) = H(B) - H(B|A) = 0$. Това означава, че събитието A не съдържа информация за събитието B. Оттук следва по-общ извод: от гледна точка на определението $I(AB) = H(B) - H(B|A)$ информация съдържат не всички знания, сведения, данни, а само тези, които намаляват неопределеността по отношение изхода на интересуващото ни събитие. Във връзка с това е необходимо да отбележим едно важно обстоятелство: данните съдържат или не съдържат информация за определен получател в зависимост от това, дали са полезни за решение на някаква задача, или не. Това е още един аспект за относителността на мярката за информация, но той вече не се отразява явно в приведеното определение.

5. В теория на информацията се доказва, че ако събитията AB и BA не се отличават едно от друго, т.е. $H(AB) = H(BA)$, информацията относно B, съдържаща се в A, е равна на информацията относно A, съдържаща се в B:

$$I(AB) = I(BA).$$

Действително при условие $H(AB) = H(BA)$,

$$H(A) + H(B|A) = H(B) + H(A|B).$$

Откъдето следва:

$$I(AB) = H(B) - H(B|A) = H(A) - H(A|B) = I(BA).$$

Тук $I(AB) = I(BA)$ може да се нарече взаимна информация на две събития едно спрямо друго. Смисълът на равенството нагледно се илюстрира от примера на двете топки без връщане в урната: цветът на първата извлечена топка носи пълна информация за цвета на другата топка.

Да разгледаме израза

$$I(AB) = H(A) - H(A|B).$$

Той означава, че информацията, съдържаща се в събитие A относно събитие B, не може да бъде по-голяма от ентропията на събитие A. Това е естествено, тъй като количеството информация, което A съдържа за B, не може да превиши това количество информация, което събитието A съдържа само за себе си. Величината $H(A|B)$ показва обратна зависимост на изхода на A от изхода на B. Понятно е, че тези зависимости имат значение дотогава, докато събитията още не са извършени или поне ние не знаем нищо за техния изход и работим с вероятности, почерпени от предходната статистика.

От формула $I(AB) = H(A) - H(A|B)$ следва също, че $I(AB)$ ще бъде равна на ентропията на събитието A в случай, когато $H(A|B) = 0$, т.е. когато изходът на събитие B напълно предопределя изхода на събитие A. С този случай се сблъскваме, когато става дума за събития, представляващи последователни стъпки на сложното събитие (AB). Ако B е заключителна стъпка, знаейки неговия изход, ние знаем и изходите на предварителните стъпки. В този частен случай може да се каже, че ентропията на сложното събитие е равна на ентропията на заключителната стъпка.

Действително, доколкото в този случай $H(A|B) = 0$, то $I(AB) = H(A)$.

Но

$$I(AB) = H(B) - H(B|A).$$

Оттук следва, че

$$H(B) - H(B|A) = H(A) \text{ или}$$

$$H(B) = H(B|A) + H(A) = H(AB).$$

В такъв случай събитие A съдържа най-голяма информация относно събитие B и не съдържа никаква странична информация. Това е свързано с факта, че събитие A се оказва причинно независимо от събитие B, докато въобще предшестващата стъпка на процеса е причинно независима от последващата (например: прогимназия не можеш да завършиш след гимназия, макар да се знае, че завършилият гимназия е завършил прогимназия).

6.3. Излишък на информационния източник

Количеството информация е равно на ентропията, т.е. $I(A) = H(A)$ само когато неопределеността на ситуацията се премахва напълно. В общия случай се счита, че информацията представлява намаление на ентропията вследствие на опит или на друг акт на познание.

В случай на непълно разрешаване на неопределеността се получава частична информация, която е разлика между началната и крайната ентропия

$$I = H_1 - H_2.$$

Най-голямо количество информация се получава, когато се премахва напълно ентропията, и то когато тя е максимална.

Както показахме по-рано, най-голяма ентропия (H_{max}) съществува при събитие с равновероятни изходи.

За сравнение на източниците на информация се въвежда параметър, наречен излишък. Излишъкът на информация ρ_i представлява разликата между максималната ентропия (H_{max}) и действителната ентропия на източника на информация (H), която се дефинира чрез

$$\rho_i = \frac{(H_{max} - H)}{H_{max}} = 1 - \frac{H}{H_{max}} .$$

Излишъкът на източника зависи както от дължината на статистическите връзки между последователно избираеми символи (памет на източника), така и от степента на неравновероятност на отделните символи. Ако източникът е без памет (последователно предаваните символи са независими) и ако всички символи са равновероятни [$p(a_i) = 1/x$], то $H = H_{max} = \log K$ и излишъкът $\rho_i = 0$. Излишък на източника с обем на азбуката K показва каква част от максимално възможната при тази азбука ентропия не се използва от източника.

Източник с излишък $\rho_i = 0$ се нарича оптимален. Всички реални източници имат излишък ρ_i, различен от нула.

Пример: Пълната скала на измервателен уред съдържа $H_{max} = 1000$ деления. Той измерва с грешка ± 1 % от пълната скала. Тогава уредът ще мери с точност ± 10 деления от скалата. В такъв случай е достатъчно скалата да се раздели на 1000/20 = 50 деления. В този случай

$$\rho_i = (H_{max} - H)/H_{max} = 1 - 50/1000 = 0.95.$$

Излишъкът на източника показва каква част от максимално възможната ентропия не се използва от източника.

Задачи към втора глава

1. Представете матрично трансформацията:

$$T = \downarrow \begin{pmatrix} f & g & p & k & r \\ g & f & k & r & p \end{pmatrix}$$

2. Представете чрез формула трансформацията:

$$T = \downarrow \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 7 \\ 3 & 5 & 7 & 9 & 15 \end{pmatrix}$$

3. Да се определи ентропията на събитие с два възможни изхода, съответно с вероятности p_1 и p_2, при следните три случая:

a) $p_1 = 1$; $p_2 = 0$;

b) $p_1 = 0{,}5$; $p_2 = 0{,}5$;

c) $p_1 = 0{,}8$; $p_2 = 0{,}2$.

4. При дистанционно измерване на напрежение, което се мени от 0 до 100 V, се използват съоръжения, които отчитат през 1 V. От практическа гледна точка е напълно задоволително отчетите да се извършват през 5 V. Да се изчисли ентропията в двата случая. Да се определи излишъкът на информация при първото измерване.

5. В едно състезание по надбягване участват 16 равностойни състезатели. Каква е ентропията относно изхода на състезанието? Какво количество информация се получава след завършване на състезанието?

6. Схема, предназначена за предаване на сигнали от точка *a* до точка *b*, се състои от два елемента *A* и *B*, свързани в паралел, за да се резервират взаимно. За известен период елемент *A* е изправен с вероятност $p_1 = 0{,}8$, а елемент *B* е изправен с вероятност $p_2 = 0{,}7$. Да се намери вероятността за изправна работа на резервираната система за същия период и да се определи количеството информация, което се получава при това.

7. Схема, предназначена за предаване на сигнали от точка *a* до точка *b*, се състои от два елемента *A* и *B*, свързани последователно. За известен период елемент *A* е изправен с вероятност $p_1 = 0{,}8$, а елемент *B* е изправен с вероятност $p_2 = 0{,}7$. Да се намери вероятността за изправна работа на системата за същия период и да се определи количеството информация, което се получава при това.

8. Да се сравнят резултатите от задача 7 и 8 и да се направят изводи.

9. Вероятността за появата на едно събитие при едно изпитание е равна на *p*, а вероятността за непоявата му е $q = 1 - p$. При каква стойност на *p* резултатът от изпитанието има най-голяма неопределеност?

10. Източник на съобщение подава символи от ансамбъла $\{a_i\}$ при $i = (1, 2, 3, 4)$ с вероятности съответно $p(a_1) = 0{,}2$; $p(a_2) = 0{,}3$; $p(a_3) = 0{,}4$; $p(a_4) = 0{,}1$. Да се намери количеството информация, съдържащо се във всеки символ на източника при независимото му избиране. Да се изчислят ентропията и излишъкът на информационния източник.

11. В един град 25 % от населението са студенти. 50 % от студентите са младежи. В града има 35 % младежи. Колко допълнителна информация се съдържа в съобщението, че срещнатият младеж е студент?

ТРЕТА ГЛАВА

ЕЛЕМЕНТИ НА ТЕОРИЯТА НА ПРЕДАВАНЕ НА СЪОБЩЕНИЯ

Както всяка теория, и теория на предаване на съобщения възниква, за да отговори на необходимостта да се обобщят отделните извършени теоретични и експериментални изследвания. Тя е пряко свързана с теория на системите и теория на информацията.

1. Информация, съобщение, сигнал. Основна схема на предаване на съобщения

1.1. Основни понятия в теория на предаване на съобщения – информация, съобщение и сигнал

Информация – представлява съвкупност от сведения за събития, явления, процеси, които постъпват към получателя отвън в резултат на взаимодействието на получателя с околната среда. Получаването им намалява за получателя неопределеността на събитията, явленията, процесите. Тези сведения могат да се съхраняват, предават, разпределят, преобразуват или да се използват непосредствено.

За предаване или запомняне на информация се използват различни знаци (символи), позволяващи информацията да бъде изразена в определена форма. Тези знаци могат да бъдат думи и изречения в човешката реч, жестове и рисунки, математически знаци, колебателни процеси и др.

Съобщение – представлява конкретен израз на определена информация. То е съвкупност от знаци и правила за тяхното възприемане.

При телеграфните предавания съобщението е текст на телеграма и представлява последователност от отделни знаци – букви и цифри.

При разговор по телефона съобщението е непрекъснато изменение във времето на звуково налягане, изобразяващо не само съдържание, но и интонация, тембър, ритъм и други свойства на речта.

В телевизията при предаване на движещи се изображения съобщението представлява изменение във времето на яркостта на елементите на изображението.

Предаването на съобщения на разстояние се осъществява посредством материален носител (хартия, магнитна лента и т.н.) или физически процес (звукови или електромагнитни вълни, ток и т.н.).

Сигнал – представлява физически процес, изобразяващ предаваното съобщение.

Най-често се използват електрически сигнали. Физическата величина, определяща сигнала, е ток или напрежение. Сигналите се образуват чрез изменение на параметри на физическия носител по закона на предаваните съобщения. Този процес обикновено се нарича модулация.

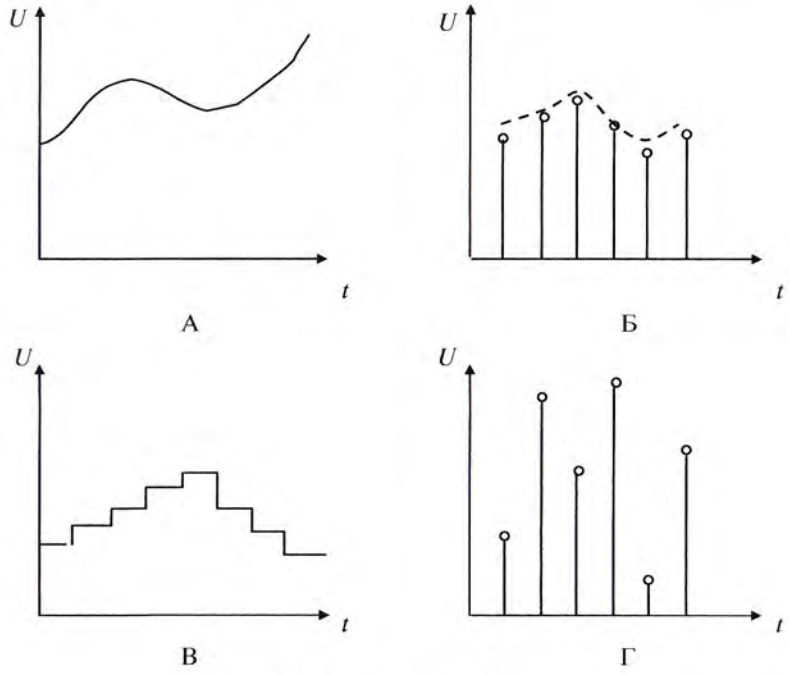
Съобщенията могат да бъдат функция на времето – например реч при телефонен разговор, температура, налягане на въздуха при предаване на телеметрични данни, спектакъл при телевизионно предаване. В други случаи съобщението не е функция на времето (например текст на телеграма, неподвижно изображение и др.).

Сигналът винаги е функция на времето, даже и съобщението да не е функция на времето. Ако сигналът приема само определени дискретни стойности (например 1 и 0), той се нарича дискретен. Ако сигналът приема произволни стойности в даден интервал, той се нарича аналогов.

Основните видове сигнали са:

- непрекъснати по състояние и по време (а) – например телефонен разговор (фиг. 3.1.А);
- дискретни по състояние и непрекъснати по време (Б) – например стойности на температура при предаване на разстояние (фиг. 3.1.Б);
- непрекъснати по състояние и дискретни по време (фиг. 3.1.В);
- дискретни по състояние и по време (фиг. 3.1.Г).

Ако предаваното съобщение е детерминирано, т.е. предварително известно с пълна достоверност, предаването му няма смисъл. То не съдържа информация. Затова съобщенията трябва да се разглеждат като случайни събития (или случайни величини, случайни функции), т.е. трябва да съществуват някакво множество от варианти на съобщение (например множество различни резултати от мач), от които се реализира с определена вероятност само едно. Затова детерминираният сигнал не може да предава информация. Той може да се използва само при изпитание на съобщителна система или на отделните ѝ елементи. Вероятностните свойства на сигналите и съобщенията, а също и средата, в която се предава сигналът, позволяват да се определят количеството предавана информация и нейните загуби.



Фиг. 3.1. Основни видове сигнали

Сигналът също е обект на пренасяне (транспорт), а съобщителната техника по същество е техника на транспортиране (предаване) на сигнали по съобщителни канали. Затова е целесъобразно да се определят параметри на сигнала, които са основни от гледна точка на предаването му. Такива параметри са: продължителност на сигнала (T_c), динамичен диапазон (D_c) и ширина на честотната лента (спектъра) (F_c).

T_c – естествен параметър, който определя интервала от време, в границите на който съществува сигналът.

D_c – динамичен обхват – отношение на най-голяма мигновена мощност на сигнала към най-малката мощност, различна от 0 при зададено качество на предаването. Изразява се в dB.

$$D_c = 10 \lg P_{max} / P_{min} \text{ [dB]}.$$

F_c – дава представа за скоростта на изменение на сигнала вътре в интервала на съществуването му. В съобщителната техника ширината на честотната лента съзнателно се намалява, тъй като апаратурата и съобщителните линии имат ограничена честотна лента на пропускане. Например при телефонен разговор е необходимо да има разбираемост и кореспондентите да се разпознават по глас. Затова се използва честотна лента с ширина 300 – 3400 Hz. Аналогично необходимата ширина на спектъра на телевизионния сигнал се определя от необходимата разделителна способност. При телетипно предаване скоростта на предаване е 50 бода, а ширината на честотната лента е около 75 Hz.

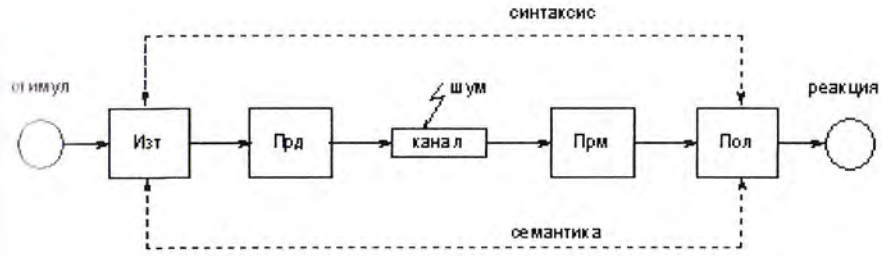
Спектърът на модулирания сигнал обикновено е по-широк от спектъра на предаваното съобщение и зависи от вида на модулацията. Може да се въведе обща и нагледна характеристика – обем на сигнала: $V_c = T_c . D_c . F_c$.

Обемът V_c дава обща представа за възможностите на дадено множество сигнали като преносители на съобщение. Колкото обемът на сигнала е по-голям, толкова повече информация може да се вложи в този обем и толкова по-трудно се предава такъв сигнал по съобщителен канал.

1.2. Основна схема на предаване на съобщения

В основата на предаване на съобщения стои простият факт, че един субект или обект изпраща съобщение на друг субект или обект. В древността за целта са използвали огньове, светлинни сигнали, ръкомахане и др.

На тази база американският учен Ласуел създава една основна схема за предаване на съобщения (фиг. 3.2).



Фиг. 3.2. Основна схема за предаване на съобщения

На тази схема причината/поводът за изпращане на съобщение се нарича стимул. В отговор на този стимул на изхода на схемата се получава реакция на получателя.

Стимулът е свързан с източник на съобщение. Източникът на съобщение (Изт) представлява обект, който генерира съобщение, подлежащо на предаване. Състоянието на източника се определя от физически процес, който протича във времето по неизвестен предварително закон.

Съобщението постъпва в предавателя (Прд), който го трансформира във вид, удобен за предаване по канала, а именно в сигнал. (В обща теория на системите определихме сигнала като модел с условно подобие на съобщението.)

Сигналите преминават през канал за връзка, който осъществява предаването им към приемника.

Каналът за връзка е подложен на шумове. При предаване на информация шумът може да бъде от различно естество.

На първо място, съществува физически шум, който представлява смущение в различните канали за връзка. На второ място, могат да възникнат грешки от възприемането: неправилно разбиране или неразбиране на предаваното съобщение или на част от него. При обикновения език причина за това е неговата многозначност, т.е. за един знак (например дума) съществуват няколко значения. По аналогия този шум се нарича семантичен. На трето място, получателят може да не възприема дадено съобщение, тъй като информацията му е вече известна. Това означава, че той във всеки конкретен момент априорно оценява важността на очакваните съобщения и неговата възприемчивост към информацията ще зависи от тези оценки. Тогава е напълно възможно обективно ценна, но неправилно оценена информация да не бъде възприета. Грешките, които се

получават в резултат на оценяване на съобщението, се наричат прагматичен шум.

Тези шумове влияят върху качеството на приетия от приемника сигнал.

Приемникът трансформира получения сигнал във форма, годна за потребителя, т.е. в съобщение.

От приемника (Прм) сигналът стига до получателя (Пол), който представлява обект или субект, приемащ съобщение, предназначено за ползване.

С термина предаване на съобщение се означава процесът на изпращане на съобщение от източника по канал за предаване на съобщение и получаването му от получателя на съобщението, т.е. съвкупността от методите и техническите средства, които се използват и участват в този процес.

Процесът на предаване на съобщения се извършва, като се използват определени правила, за да се постигне успешно предаване на съобщението и получателят да разбере смисъла му.

Основни условия за успешно предаване на съобщения са наличието на обща семантика и синтаксис между източника и ползвателя на съобщението.

Когато разглеждахме елементите на теория на информацията, се спряхме основно на количествената страна на информацията. Не по-малко значение, особено при конкретни приложения, каквото е например предаване на съобщения, има качествената страна на информацията, която не е обект на статистическата теория. Развитието на качествената страна в изследването на информацията е тясно свързано със семиотиката – теория на знаковите системи (на знаците, думите, езиците). Тя изследва знаците като особен вид носители на информация на базата на предварително съглашение между получателя и източника на сигнала. Както и всеки друг носител на информация, знакът е материален предмет.

Знакът се отличава от другите носители по това, че без да бъде пряко проявление на свойствата на предмета, който изобразява, може да съдържа информация за него само при определени условия, а именно:

- ако даденият знак е условно означение на изобразявания предмет;
- ако съществува отражение на даден предмет в паметта на някаква система (във вид на представи, понятия, образи, модели), което може да бъде активирано, когато системата получи знака, означаващ изобразявания предмет;
- ако съществува система от знаци – език, посредством който е възможно различаване на знаците, означаващи различни предмети;
- ако знакът може да окаже влияние на поведението на една система, когато извиква отражението на предмета от паметта на системата.

Предаването на съобщение в най-общ смисъл се извършва на даден език посредством думи.

Езикът е средство за общуване. Всеки език – естествен или изкуствен – има своя азбука, която представлява съвкупност от допустими знаци – букви, цифри, препинателни знаци.

Думата е най-малката езикова единица, на която съответства някакво понятие, което представлява нейното значение.

Например компютърът има 256 знака, които формират неговата азбука. Всяка последователност от тези знаци всъщност представлява дума.

За осъществяване на успешно предаване на съобщение е необходимо думите да образуват еднакъв речников фонд както за източника, така и за потребителя.

С тези въпроси се занимава семантиката, която е клон на семиотиката (семантикос – на гръцки – означаващ). По-общо казано, семантиката има отношение към смисловата страна на езика. Тя борави със значението на знаците и думите.

Освен ясен речников фонд е необходим и ясен синтаксис, т.е. подреждане на думите в изречения.

Изречението е най-малката езикова форма, която има смисъл. То изразява съждение. От изреченията се изграждат текстове с различна сложност. Фразата като част на изречението и изречението се явяват (в горния смисъл) също знаци.

Синтактиката е друг аспект на семиотиката. Тя описва синтаксиса, т.е. формалните отношения между знаците, при които съдържанието и ценността на предаваната посредством знаците информация остава встрани. Чрез синтаксиса се създава полезна смес между думите на съобщението и служебната информация. Той лежи в основата на стандартите за предаване на съобщения.

Отношението между знаците и техните потребители от гледна точка на използване на получаваната от потребителите информа-

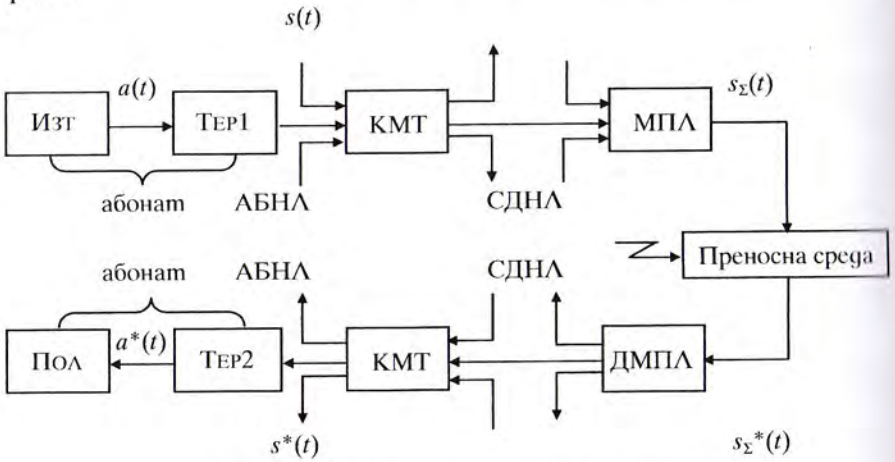
ция и влиянието на знаците върху поведението им се изучават от друг раздел на семиотиката – прагматика. Именно прагматиката се занимава с въпросите за определяне ценността на информацията.

Описаната схема обяснява основните елементи на предаване на съобщение.

Простотата на схемата е в това, че един източник се свързва с един или повече потребители и че връзката е едностранна. Тя е валидна при радио- и телевизионно разпръскване. При телефония, телеграфия, предаване на данни обикновено връзката е двустранна.

2. Съобщителна система

В най-общ вид една съобщителна система, осигуряваща двустранен обмен на информация между произволни обекти (абонати) и включваща всички характерни компоненти, може да се представи с фиг. 3.3.



Фиг. 3.3. Схема на съобщителна система

Източник на съобщение (Изт) може да бъде човек, компютър, видеокамера, някакво устройство за наблюдение (датчик за температура, ниво, налягане и т.н.).

Ако информацията представлява съвкупност от сведения за състоянието на някаква физическа система, съобщението е материална форма на представяне на тази съвкупност от сведения. Съобщението $A(t)$ може да бъде текст, говор, цифрови данни, изображение, музика, информация от всякакви датчици и др. (Данни наричаме информация, генерирана от компютър.)

Терминалът (Тер) – преобразувател на съобщение в сигнал – $a(t) \rightarrow s(t)$, действа така, че един или няколко параметъра на електрически или оптически сигнал се променят с предаваното съобщение. Такива преобразуватели са микрофони (при предаване на говор и музика), факс апарат (при предаване на неподвижно изображение), телевизионна камера (при предаване на образи), телетайп (при предаване на текст). Важно е да се знае, че терминалите винаги се намират в непосредствена близост до източника на съобщение, като понякога (например при компютри или датчици, имащи на изхода си електрически сигнал) се комбинират с него.

Комутационната система (КМТ) представлява типично съобщително съоръжение, осигуряващо възможност много абонати да могат при желание да се свържат всеки с всеки. Затова на фигурата тя има и други влизащи и излизащи сигнали $s(t)$. Комутационната техника е важен компонент на съобщителната техника и е обект на изучаване в редица дисциплини.

Абонатна линия (АБНЛ) се нарича преносната среда, по която преминава сигналът $s(t)$ от абоната до груповото съоръжение, каквото е комутационната система. Абонатната линия е най-масово използваната преносна среда. Само за телефонни услуги в света в края на 2003 г. са използвани над 1,3 милиарда такива линии. Затова тя трябва да бъде евтина (дори с известни компромиси за качеството) и не много дълга. В момента най-често това е кабелна двойка, а в съвременните съобщителни системи – оптичен кабел.

Уплътнителна (многоканална) система (УПЛ) се нарича комуникационно съоръжение, осигуряващо едновременното предаване на множество сигнали $s(t)$: $s_A(t)$, $s_b(t)$ и т.н. по една и съща (обикновено много скъпа) преносна среда. Това обединяващо сигналите устройство често се нарича мултиплексор (МПЛ). Сумарният сигнал на изхода му е означен с $s_\Sigma(t)$.

Съединителни линии (СДНЛ) се наричат преносните среди между груповите съоръжения (между уплътнителните и комутационните системи). Най-често това са кабелни двойки с по-дебели проводници, които също може да са уплътнени чрез многоканални системи.

Преносна среда в широк смисъл се нарича физическата среда, в която се разпространява сигналът в процеса на неговото предаване. В този смисъл такива са и абонатните, и съединителните линии. В по-тесен смисъл това е средата, в която се разпространява груповият сигнал $s_\Sigma(t)$ на значителни разстояния. Тази среда може да бъде кабел (симетричен или коаксиален), оптичен кабел или ефирът (при спътникови и радиорелейни връзки).

Преносната среда в тесен смисъл на думата заедно със съоръженията в нея (усилватели, регенератори на сигнала и др.) често се нарича линеен тракт.

При преминаване на сигналите през преносната среда те се изкривяват и върху тях се наслагват смущения. Затова на фигурата изходният сигнал е означен с $s_\Sigma^*(t)$.

Смущения или шумове се наричат всички нежелани електрически сигнали, пречещи на правилното приемане на полезния сигнал. На практика освен в преносната среда смущенията действат в целия тракт от източника до получателя на съобщението.

Уплътнителната система след преносната среда (линейния тракт) разделя (демултиплексира) сигналите и се нарича демултиплексор (ДМПЛ). Сигналите след него са изменени в известна степен от смущенията (означени на фигурата със звездичка). Тези сигнали преминават през комутационната система, която ги направлява към определени получатели, преобразуват се в съобщения $a^*(t)$ (също малко изменени) и се предават на получателя.

Съобщителен канал се нарича комуникационната система без източника и получателя на съобщението (Пол), т.е. съдържа само техническата част на системата, включително терминалите.

При различни видове връзки някои от блоковете на фигурата могат да липсват. Например при телефонна връзка между близки абонати (свързани към една и съща комутационна система) няма да има уплътнителни системи и междуградски (магистрални) кабели, а при директна връзка между два компютъра ще останат само първите и последните два блока на фигурата.

Изобразената на фигурата система предава съобщения (респективно сигнали) само в една посока. Такава система се нарича еднопосочна или симплексна. Основната част от комуникационните системи осигурява двустранен обмен на информация. Ако това може да се прави едновременно, системата се нарича двупосочна или дуплексна, а ако обменът е двупосочна, но с редуване на посоките на предаване (в даден момент може да се предава само в една посока), системата се нарича полудуплексна. Телефонните връзки са типични дуплексни връзки, а радио- и телевизионното разпръскване са типични симплексни системи.

3. Кодиране и модулация

Общите принципи на кодиране на информация, които ще разгледаме, се отнасят както за системи, чиято основна функция е предаване на информация в пространството (т.е. съобщителни системи), така и за системи, чиято основна функция е предаване на информация във времето, т.е. системи за съхранение (запомняне) на информация. В тях запомнящата среда играе ролята на съобщителен канал.

Под кодиране в широкия смисъл на думата се разбира представянето на съобщенията във форма, удобна за предаване по даден канал. Обратното действие се нарича декодиране.

За превръщане на съобщението в сигнал се вземат предвид следните съображения:

- тъй като количеството възможни съобщения при неограничено увеличаване на времето се стреми към безкрайност, е ясно, че е практически невъзможно да се определи отделен сигнал за всяко съобщение;
- като се вземе предвид, че дискретните съобщения се образуват от букви, а непрекъснатите също могат да се представят като последователност от цифри, става възможно да се използват краен брой определени сигнали, съответстващи на отделните букви на азбуката на източника на съобщение. Азбука на източника на съобщение е съвкупността от букви, цифри и препинателни знаци.

При голям обем на азбуката често се прибягва до представяне на буквите чрез друга азбука, наречена кодова азбука, с по-малък брой букви, които ще наричаме символи. За означаване на това действие се използва терминът кодиране в тесен смисъл на думата. Кодова азбука е множеството на възможните кодови символи.

Тъй като азбуката на символите е по-малка от азбуката на буквите, на всяка буква съответства някаква последователност от символи, която ще наречем кодова комбинация. Броят на символите

в кодовата комбинация се нарича значност на комбинацията. Правилото за кодиране може да се изрази чрез кодова таблица, в която се показват азбуката на кодираните съобщения и съответните им кодови комбинации.

Процесът на преобразуване на буквите на съобщението в сигнали си поставя следната цел:

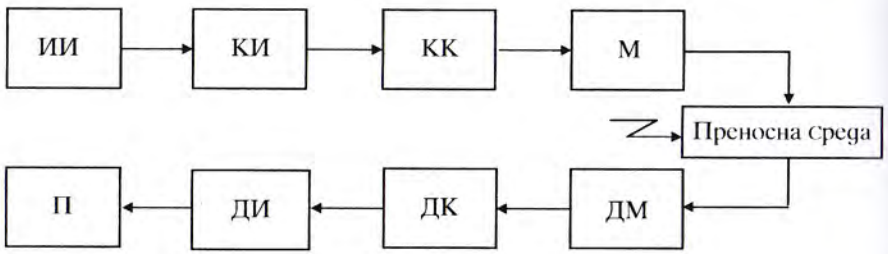
- преобразуване на информацията в такава система от символи (код), в която да се осигурят простота и надеждност на апаратната реализация на информационните устройства и тяхната ефективност. Това означава апаратурата лесно да разграничава отделните символи; минимално време при предаване или минимален обем на запомнящото устройство; простота на изпълнение на аритметични и логични действия в тази система.

Статистическите свойства на източника на съобщение и смущенията в съобщителния канал не се вземат под внимание.

Техническата реализация на процеса кодиране в такъв най-прост вид при непрекъснат входен сигнал се осъществява чрез аналого-цифров преобразувател.

В своите основни теореми Шенън обосновава ефективността на въвеждане на кодиращи и съответно декодиращи устройства, които имат за цел да съгласуват свойствата на източника на съобщение със свойствата на канала.

Да разгледаме един по-подробен вариант на основната схема за предаване на съобщения от един източник на информация (ИИ) към един получател (П) (фиг. 3.4).



Фиг. 3.4. Разширен вариант на основната схема за предаване на съобщения

Кодиращото устройство на източника (КИ) има за цел да осигури такова кодиране, при което чрез отстраняване на излишъка съществено да намали средния брой символи, необходим за една буква от съобщението. При липса на смущения по този начин се получава намаляване на времето за предаване или респективно на обема на запомнящото устройство, т.е. ефективността на системата се повишава. Оттук и наименованието на този тип кодиране – ефективно или оптимално.

При наличие на смущения в канала то позволява входната информация да се преобразува най-добре (в смисъл на максимална компресия) в последователност от символи, подготвена за по-нататъшно преобразуване.

Второто кодиращо устройство – кодер на канала (КК) – има за цел да осигури зададена достоверност при предаване или съхранение на информация чрез допълнително въвеждане на излишък, но вече чрез прости алгоритми и като се отчитат интензивността и статистическите закономерности в съобщителния канал. Това кодиране се нарича шумоустойчиво.

Защо се премахва излишъкът на източника на съобщение, а се добавя нов – на шумоустойчивия код?

Отстраняването на излишъка на съобщението чрез методите на ефективно кодиране с последващо прекодиране с шумоустойчиви кодове е целесъобразно, тъй като излишъкът на източника на съобщение в повечето случаи не е съгласуван със статистическите закономерности на смущенията в съобщителните канали и затова не може да бъде пълноценно използван за повишаване достоверността на приеманото съобщение, докато е възможен подбор на подходящ шумоустойчив код. Освен това излишъкът на източника на съобщение често е следствие на доста сложни вероятностни зависимости и позволява откриването и коригирането на грешките само след декодиране на цялото съобщение, при това като се използват много сложни алгоритми.

И тъй изборът на кодиращи и декодиращи устройства зависи от статистическите свойства на източника на съобщение и от нивото и характера на смущенията в съобщителния канал. Възможни са 4 случая:

- ако излишъкът на източника на съобщение и смущенията в съобщителния канал практически не съществуват, не е целесъобразно въвеждането на КИ и КК;

- когато излишъкът на източника на съобщение е голям, а смущенията са малки, е целесъобразно използването на КИ;
- когато излишъкът на източника на съобщение е малък, а смущенията са големи, е целесъобразно използването на КК;
- при голям излишък на източника на съобщение и високо ниво на смущения е целесъобразно въвеждането на двете допълнителни кодиращи (и респективно декодиращи) устройства.

След КК кодираният сигнал постъпва в устройство за преобразуване на кодовите символи в сигнали, удобни за предаване по канали, наречено модулатор (М), а процесът е наречен модулация. Модулацията бива аналогова и цифрова.

Аналоговата модулация е процес на образуване на сигналите чрез изменение на параметри на физическия носител по закона на предаваните съобщения. Полученият на изхода на модулатора сигнал е подготвен за предаване по конкретна съобщителна линия или за съхранение в запомнящо устройство. Демодулаторът (ДМ) превръща сигналите в символи. Двата декодера – декодер на канала (ДК) и декодер на източника (ДИ) – подават декодираното съобщение на получателя (П).

Повечето кодове, използвани при кодиране на информация без отчитане на статистическите свойства и смущения в съобщителния канал, са изградени на база на бройни системи.

На всяко дискретно съобщение или буква от съобщение може да се присвои пореден номер. Предаването и съхранението на съобщение се свежда до предаване и съхранение на числа. Числата могат да се представят в коя да е бройна система. По такъв начин се получава код въз основа на дадена бройна система.

Кое да е число M може да бъде представено в бройна система с основа m по следния начин:

$$M_{(m)} = b_{n-1}m^{n-1} + b_{n-2}m^{n-2} + \ldots + b_2m^2 + b_1m^1 + b_0m^0,$$

като коефициентите b_i приемат стойности от 0 до $m-1$. При $m = 2$ b_i приема стойности 0 и 1.

Броят на възможните кодови комбинации $N = m^n$.

Колкото е по-голяма основата на бройната система, толкова по-малко разреди са необходими за представяне на дадено число и следователно е необходимо по-малко време за предаването му.

3.1. Видове кодове

3.1.1. Видове кодове в зависимост от основата на кода

С увеличаване на основата на кода съществено се повишават изискванията към съобщителната линия и апаратурата за създаване и разпознаване на сигнали, съответстващи на различни символи. Логическите елементи на изчислителните устройства в този случай трябва да имат по-голям брой устойчиви състояния.

Въз основа на тези съображения е целесъобразно да се избере система, която осигурява минимално произведение на броя на различните символи m по броя на разредите n за изобразяване на кое да е число. На база на изследвания е показано, че най-ефективна система е троичната. Незначително се различават двоичната и четворичната. Системи с основа, по-голяма или равна на 10, са много по-неефективни.

Сравнението между системите от гледна точка на физическа реализация на съответните им логически елементи и простота на изпълнение на аритметични и логически действия е в полза на двоичната система. Действително логическите елементи за тази система трябва да имат две устойчиви състояния. Аритметичните и логическите действия също най-просто се осъществяват в двоична система. В таблица 3.1 – за събиране, изваждане и умножение – влизат само по 4 равенства.

Таблица 3.1

Правила за събиране	Правила за изваждане	Правила за умножение
0 + 0 = 0	0 – 0 = 0	0 x 0 = 0
0 + 1 = 1	1 – 0 = 1	0 x 1 = 0
1 + 0 = 1	1 – 1 = 0	1 x 0 = 0
1 + 1 = 10*	10 – 1 = 1	1 x 1 = 1

* 0 в дадения разред; 1 – пренос в следващия разред.

Най-разпространената при кодиране и декодиране логическа операция е сумиране по модул 2, известна още като Изключващо ИЛИ.

$$0 \oplus 0 = 0 \qquad 0 \oplus 1 = 1 \qquad 1 \oplus 1 = 0 \qquad 1 \oplus 0 = 1$$

Превръщането на числата от двоична в десетична система е просто. Затова за предаване и извършване на логически операции е най-целесъобразен двоичният код. Той обаче не е удобен за въвеждане и извеждане на информация. Затова получават разпространение системи, които, от една страна, лесно се привеждат към двоична или десетична система, а, от друга, чрез тях се осъществява по-компактен запис. Такива системи са осмична, шестнадесетична и двоично-десетична.

3.1.2. Видове кодове в зависимост от броя на разредите

Тези кодове биват **равномерни** и **неравномерни**.

3.1.2.1. Равномерни кодове

Ако броят на разредите във всички кодови комбинации n = const, кодът се нарича равномерен. При равномерните кодове буквите се преобразуват в последователности на двоични символи, без да се вземат под внимание статистическите характеристики на постъпващите съобщения. Такива кодове са например двоичният и двоично-десетичният код.

Броят на кодовите комбинации на равномерния код (N) е:

$$N = m^n,$$

където m е основата на кода, а n – броят разреди в кодовата комбинация.

Всяка буква от ансамбъла $\{a_i\}$ с обем K може да се закодира при

$$N = m^n \geq K.$$

При кодиране на отделен символ на източника на съобщението $\{a_i\}$ се съпоставят цели числа от 0 до $K - 1$.

Кодът, за който $m^n = K$, се нарича *примитивен* (т.е. код без излишък).

Когато $m^n > K$, кодът има излишък.

Излишъкът на кода се определя със съотношението

$$\rho_k = 1 - \frac{v_c (1 - \rho_c) \log K}{v_k \log m},$$

където ρ_c е излишък на източника; v_c – скоростта, с която източникът подава символите; v_k – скоростта, с която кодерът подава символите.

Излишъкът на равномерния m-позиционен n-разреден код при $\rho_c = 0$ (т.е. източникът няма излишък) е:

$$\rho_k = 1 - \frac{\log K}{n \log m},$$

където $n = \frac{v_k}{v_c}$ е броят на символите на кода за 1 символ на източника.

При $m = 2$ и логаритъм при основа 2 се получава $\rho_k = 1 - \frac{\log_2 K}{n}$.

Излишъкът на кода е важна негова характеристика и определя коригиращите му възможности.

3.1.2.2. Неравномерни кодове

Ако се отчетат статистическите свойства на източника на съобщение, може да се минимизира средният брой двоични символи, необходими за изразяване на една буква от съобщението, което при отсъствие на шум позволява да се намали времето за предаване или обема на запаметяващото устройство.

Дължината на кодовата комбинация на такива кодове зависи от вероятността за избор на съответната буква от азбуката (или дума); на най-вероятните букви се съпоставят кратки кодови комбинации, а на по-малко вероятните – по-дълги. Такова кодиране се нарича *ефективно* или *оптимално* кодиране, тъй като позволява да се съкрати средната дължина на кодовата комбинация.

Ефективното кодиране се базира на основната теорема на Клод Шенън за канал без шум. Шенън е доказал, че съобщения, съставени от букви на някаква азбука, може така да се кодират, че средното количество двоични символи на буква n да бъде максимално близко до ентропията на източника на тези съобщения $H(A)$, но не по-малко от нея.

$$\bar{n} = \Sigma\, n(a_i)\, p(a_i) \qquad \bar{n}_{\min} = H(A),$$

където:

$n(a_i)$ е броят знаци в кодовата комбинация;

$p(a_i)$ – вероятността за поява на буквата и

$H(A) = -\sum_{i=1}^{k} p(A_i) \log p(A_i)$ – средното количество информация, което се пада на един символ.

Теоремата не дава конкретен метод на кодиране, но от нея следва, че всеки символ от кодовата комбинация трябва да се избира така, че да носи максимална информация. Следователно всеки символ трябва да приема стойности 0 и 1 по възможност с равни вероятности и всеки избор трябва да бъде независим от стойностите на предходните символи.

За случай на липса на статистическа взаимовръзка между буквите са предложени конструктивни методи за построяване на ефективни неравномерни кодове от Шенън и Фано. Поради незначителни разлики в предложените методики кодът е известен като код на Шенън-Фано.

За съставяне на този код символите/съобщенията (a_i) се подреждат по реда на намаляване на вероятността за появата им. Така записаните символи/съобщения се разделят на две по възможност равновероятни подгрупи. На всички символи, влизащи в първата подгрупа, се присвоява 1 като първи кодов символ, а на символите от втората подгрупа – 0. Аналогично делене на подгрупите продължава, докато във всяка подгрупа остане само един символ.

Друг ефективен код е кодът на Хафмън. Той гарантира еднозначно построяване на кода с най-малко средно количество символи на буква за дадено разпределение на вероятностите.

За съставяне на този код всички символи/съобщения се подреждат според намаление на вероятността за появата им. След това двата с най-малки вероятности се обединяват със скоба и на по-

голямата вероятност се присвоява кодов символ 1, а на по-малката – 0. След това тези вероятности се сумират и резултатът се записва в промеждутъка между двата символа с най-близки вероятности. Процесът на обединение на двата символа с най-малки вероятности продължава, докато сумарната вероятност на последните два символа стане равна на 1. Този процес се оформя в таблица.

За съставяне на кодовата комбинация, съответстваща на даден символ, трябва да се проследи пътят на прехода на символа по редовете и стълбовете на получената таблица. Кодът на всеки символ се получава чрез запис на двоичните числа от дясно на ляво, като всяка линия с вероятности се обхожда отгоре и надясно, като се започне с вероятността за символа, чийто код се създава.

Излишъкът на неравномерните кодове, каквито са кодовете на Шенън-Фано и Хафмън, се определя посредством формулата:

$$\rho_k = \frac{\bar{n} - \bar{n}_{\min}}{\bar{n}} \cdot 100\,\% = \left(1 - \frac{\bar{n}_{\min}}{\bar{n}}\right) \cdot 100\,\%.$$

Като се разгледат методите за построяване на ефективни кодове, се вижда, че търсеният ефект се постига, тъй като на по-вероятните букви се присвояват по-къси комбинации, а на по-малко вероятните букви – по-дълги комбинации. Този ефект е свързан с разлика в броя на символите в кодовата комбинация, което води до трудности при декодирането. Би могло да се постави специален разделителен елемент за различаване на кодовите комбинации, но така би се намалил ефектът, към който се стремим, тъй като средната дължина на кодовата комбинация по същество ще се увеличи с един символ. Затова е по-целесъобразно да се осигури еднозначно декодиране без въвеждане на допълнителни символи. За да се декодират кодовете, без да се допуска двусмисленост, кодът трябва да се строи така, че да удовлетворява т.нар. "префиксно свойство". То се изразява в това, че нито една използвана кодова дума не трябва да съвпада с началото, т.е. с "префикса" на друга по-дълга кодова дума. Ефективните неравномерни кодове на Шенън-Фано и Хафмън отговарят на това изискване.

Методите на ефективно кодиране се използват и в случаите на корелирана последователност от букви (т.е. последователност на букви, между които има взаимна връзка). Подлежащите на

предаване съобщения се разбиват на 2-, 3- или l-буквени съчетания, вероятностите на които са известни. На всяко съчетание се поставя в съответствие кодова комбинация по методиките на Шенън-Фано или Хафмън.

3.1.3. Видове кодове по защитеност от смущения

По този признак кодовете се делят на прости (примитивни) и коригиращи.

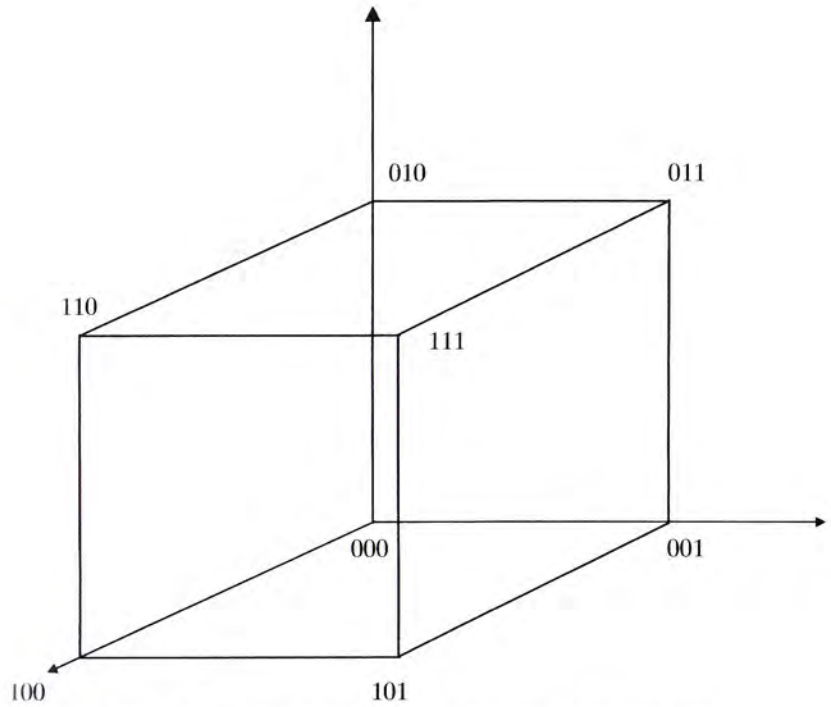
Простите кодове (без излишък) са кодове, при които всички възможни комбинации се използват за предаване на информация. Преобразуването на един кодов символ в друг води до грешка, т.е. една кодова комбинация се приема като друга.

Коригиращи кодове са тези, при които за предаване на съобщение не се използват всички кодови комбинации, а само някои от тях. Коригиращите свойства на кодовете се постигат с въвеждане на допълнителни (излишни) символи в кодовата комбинация. Коригиращи кодове са тези, които осигуряват автоматично откриване и поправяне на грешките в приетата кодова комбинация.

Общият принцип на построяване на коригиращи кодове най-просто се онагледява при триелементен код (т.е. със значност = 3) с геометричен модел на тримерен куб, при който осемте комбинации ($2^3 = 8$) се представят във вид на точки в тримерното пространство, както е показано на следващата фигура. Всяка от комбинациите се записва със съответните координати. Възможните 8 комбинации са: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111.

Ако се вземе който и да е връх на куба и се определи разстоянието му до другите върхове, се вижда, че:

- най-близките съседни върхове са отдалечени например от връх 111 на една единица, ако ръбът на куба се вземе за единица разстояние между неговите върхове;
- върховете с координати 010, 100, 001 са отдалечени от разглежданата точка на две единици, измерено по ръбовете на куба;
- накрая точка с координати 000 е отдалечена от разглежданата комбинация на три единици.



Фиг. 3.5. Геометричен модел на триелементен код

Кодовите комбинации 110, 011 и 101 се различават от 111 само по един разред; 010, 100 и 001 – по два разреда; 000 – по три разреда.

Броят на "стъпките", които трябва да се направят по ръбовете на тримерния куб, за да се попадне от един връх на друг, се нарича *кодово* или *Хемингово разстояние* (d). Кодовото разстояние се определя с броя на разредите, в които елементите в кодовите комбинации не съвпадат. То има голямо значение и от неговата големина зависи коригиращата способност на кода. Това свойство е илюстрирано с геометричния модел на 3-елементния код, който вече беше показан по-горе.

Да разгледаме следните три случая:

1. Ако за предаване се използват всички 8 кодови комбинации, от модела се вижда, че минималното кодово разстояние е $d = 1$. Следователно при изкривяване само на един кой да е елемент всяка кодова

комбинация преминава в друга използвана комбинация и грешката не се открива.

2. Ако за предаване се използват само комбинации, например с четен брой единици (000, 011, 101, 110), в този случай минималното кодово разстояние между които и да е две комбинации е $d = 2$. Този код осигурява откриването на всички единични и тройни грешки, тъй като при изменението на една коя да е от трите координати всяка комбинация преминава в друга, която не съвпада с нито една от използваните комбинации. Това позволява да се открие единична грешка.

Очевидно е, че при изменение на всичките три координати дадената комбинация преминава в друга неизползвана комбинация, т.е. открива се тройна грешка.

Например ако в комбинацията 101 е приет грешно първият елемент, се получава нова комбинация 001, която не се използва и това показва наличието на грешка в приетата комбинация. При изкривяване на два елемента, например при получаване на комбинация 011, новата комбинация се използва и следователно двойни грешки не се откриват. При тройна грешка – 010, тази комбинация е неизползвана и грешката се открива.

Лесно е да се докаже, че ако се използват само кодови комбинации с нечетен брой единици (001, 010, 100 и 111), ще се получи код, притежаващ точно такива свойства, както и кодът с четен брой единици.

3. За да може единичната грешка да бъде не само открита, но и поправена, кодовото разстояние между комбинациите трябва да бъде не по-малко от три единици (три ръба на куба). Това условие в триелементния код се удовлетворява от която и да е двойка точки, разположени в краищата на диагоналите на куба (000 и 111, 100 и 011, 010 и 101, 001 и 110). При единична грешка, т.е. при замяна например в комбинацията 000 на третата позиция 0 с 1, получената комбинация е разположена по-близо до комбинацията 000, отколкото до комбинацията 111. Това дава възможност приетата комбинация да се отъждестви с 000 и така да се поправи единичната грешка.

Лесно може да се провери, че този код може да се използва и за откриване без поправяне на двойни грешки. От разгледаните примери става ясно, че:

- в код с откриване (детекция) на единични грешки всяка комбинация трябва да се отличава от която и да е друга най-малко с

два елемента, или минималното разстояние между две комбинации трябва да е $d \geq 2$;
- в код с поправяне (корекция) на единични грешки минималното кодово разстояние между комбинациите трябва да е $d \geq 3$.

По аналогичен начин може да се покаже, че за поправяне на единични грешки и за откриване на двойни грешки минималното разстояние $d \geq 4$, а за поправяне на двойните грешки $d \geq 5$ и т.н.

Трябва да се отбележи, че при зададено d_{min} между комбинациите поправянето на някакво количество грешки може да бъде заменено с откриването на двойно количество грешки.

Примери на коригиращи кодове са: код за контрол по нечетност – при запомнящи устройства с магнитна лента; *Cross InterleAved Reed Solomon code* – при компактдискови устройства (*CD*).

3.1.4. Характеристики на коригиращите кодове

Характерно за коригиращите кодове е, че при тях има два вида комбинации:

- използвани (разрешени);
- неизползвани (неразрешени).

Във всяка кодова комбинация като правило елементите биват:

- информационни;
- контролни (проверочни).

Информационни елементи са тези, от които се формира основната кодова комбинация, съответстваща на предадения знак. Останалите елементи са контролни (проверочни).

Основните параметри на коригиращите кодове са:

- абсолютен излишък на кода (r)

$$r = n - k,$$

където:

n е общият брой елементи в комбинацията;

k – броят на информационните елементи в комбинацията;

- относителен излишък (R_r)

$$R_r = (n - k)/n = r/n;$$

- пропускателна способност на коригиращите кодове (R_k)

$$R_k = k/n;$$

- тегло на кодовите комбинации (W). Определя се от броя на единиците в разглежданата комбинация и се изчислява по формулата

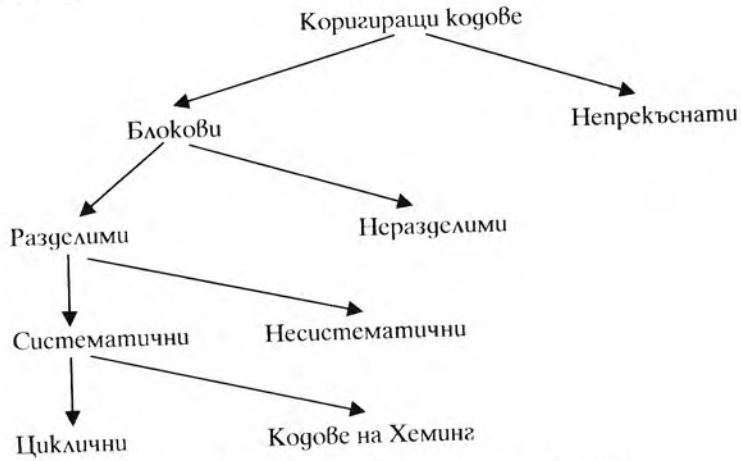
$$W = \sum_{i=1}^{n} a_i ,$$

където a_i са елементите на кодовата комбинация;

- кодово разстояние (d) между две кои да са кодови комбинации. Определя се от броя на разредите (позициите), в които техните елементи не съвпадат. Очевидно кодовото разстояние между две кодови комбинации е равно на теглото в резултат на сумирането на тези елементи по модул 2.

3.1.5. Класификация на коригиращите кодове

В зависимост от принципа на построяване на коригиращите кодове те се делят на два основни класа – **блокови** и **непрекъснати** (фиг. 3.6).



Фиг. 3.6. Видове коригиращи кодове

При *блоковите кодове* цялата предавана информационна поредица от елементи се разделя на отделни блокове (кодови комбинации), които съдържат определен брой елементи и се кодират и декодират независимо една от друга.

Най-голямо приложение намират равномерните блокови кодове, при които всяка комбинация съдържа еднакъв брой елементи. Порядко се използват неравномерните блокови кодове, тъй като построяването на кодиращи и декодиращи устройства при тях е по-сложно.

Непрекъснатите кодове представляват непрекъсната поредица от елементи, при която между разредите на изходната информационна поредица, подлежаща на кодиране, са вместени проверочните разреди. При това кодирането и декодирането при тях имат непрекъснат характер.

Блоковите кодове от своя страна се делят на разделими и неразделими.

Разделими кодове са тези, в които разредите в отделните кодови комбинации се разграничават: едни са информационни, други са проверочни. Информационните и проверочните разреди заемат винаги едни и същи позиции. Разделимите кодове се означават като (n, k) кодове, където n е общият брой на разредите, а k е броят на информационните разреди.

Неразделимите кодове представляват една малка група кодове, при които няма рязко разграничение между информационните и проверочните разреди. Към тях в частност се отнасят намерилите широко приложение в телеграфията кодове с постоянно тегло (постоянен брой единици в кодова комбинация).

В сравнение с блоковите разделими кодове неразделимите кодове намират по-малко приложение, тъй като при тях построяването на кодиращи и декодиращи устройства е по-сложно в сравнение с това при първите.

Блоковите разделими кодове се делят на систематични и несистематични.

Систематични (линейни) кодове се наричат тези, при които информационните и проверочните елементи са свързани помежду си със система линейни зависимости. При тях сумата по модул 2 на всеки две разрешени комбинации дава нова комбинация на кода.

Несистематичните кодове не притежават това свойство.

Едни от известните кодове са систематичните кодове на Хеминг, кодовете на Елайс, Блох, Галагер, Голей и др. Голямо приложение в практиката намира групата на систематичните циклични кодове. Напоследък станаха известни и каскадните кодове. Могат да бъдат изброени още редица коригиращи кодове, носещи обикновено името на своя автор. Необходимо е обаче да се знае, че голяма част от теоретично добре разработените кодове не са намерили практическо приложение главно поради трудностите при схемната им реализация.

Кодове на Хеминг – това са коригиращи кодове, които дават възможност не само да се открие грешка, но и да се посочи номерът на сгрешения елемент в кодовата комбинация. Това свойство на кодовете дава възможност при използването им автоматично да се коригират грешките при приемане. Дават възможност също за поправяне на единични грешки и за откриване на двойни грешки.

Кодирането се свежда до определяне на r проверочни елемента въз основа на известните информационни елементи k. Тези проверочни елементи дават възможност да се направят r независими проверки на елементите на всяка кодова комбинация. По резултатите на всяка проверка, записани в двоична форма, се получава r разредно число, което, превърнато в десетично, определя номера на сгрешения разред.

За да може проверочното число да посочи номера на сгрешения елемент, е необходимо тези числа да бъдат по-малко на брой от $n + 1$. От този брой n са числата, показващи грешки в n елемента на кодовата комбинация, и едно число, показващо липса на грешки. Тъй като при r елемента броят на различните числа е 2^r, броят на проверочните елементи може да се определи от условието $2^r \geq n+1$ или $r \geq \log_2 (n+1)$. Тъй като $r = n - k$; тогава $2^k \leq \frac{2n}{n+1}$, откъдето $n - k \geq \log_2 (n+1)$.

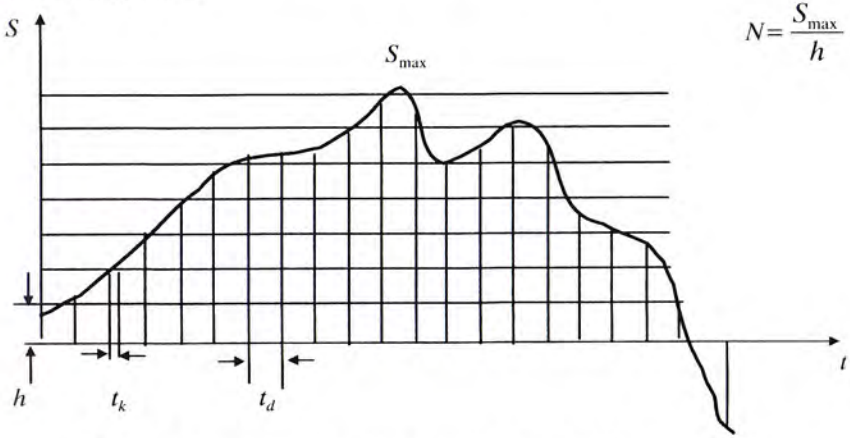
От това неравенство се построява таблица за определяне на максималната стойност на k при зададени n или минималната стойност на r при зададено n.

Циклични кодове се наричат тези коригиращи кодове, които се образуват чрез умножение на всяка кодова комбинация на k-елементния прост код, изразена във вид на полином $G(x)$, с образуващ полином $P(x)$ от степен $n - k$, където n е общият брой на елементите на коригиращия код, а k е броят на информационните елементи.

Името си цикличните кодове са получили от основното си свойство – цикличност. От всяка кодова комбинация $G = (g_0, g_1, ..., g_{n-1})$ при циклично разместване на елементите наляво $G' = (g_1, g_2, g_{n-1}, g_0)$ и надясно – $G'' = (g_{n-1}, g_0, ..., g_{n-2})$ се получава комбинация също на цикличния код.

4. Импулсно-кодова модулация

Импулсно-кодовата модулация (*Pulse Code Modulation – PCM*) се използва широко за превръщане на аналоговия сигнал в цифров. Прилага се за цифрово предаване на говор, музика, изображения – подвижни и неподвижни.



Фиг. 3.7. Преобразуване на аналогов сигнал в цифров

Импулсно-кодовата модулация включва следните три операции (фиг. 3.7):

1. *Дискретизация* на аналоговия сигнал в съответствие с теоремата на Котелников, т.е. с честота на дискретизация $f_d \geq 2f_m$, където f_m е максималната честота в спектъра на аналоговия сигнал. Например при *GSM* телефоните f_d = 8 kHz, при компактдисковете – 44,1 kHz, при цифровия магнитен запис – 48 kHz.

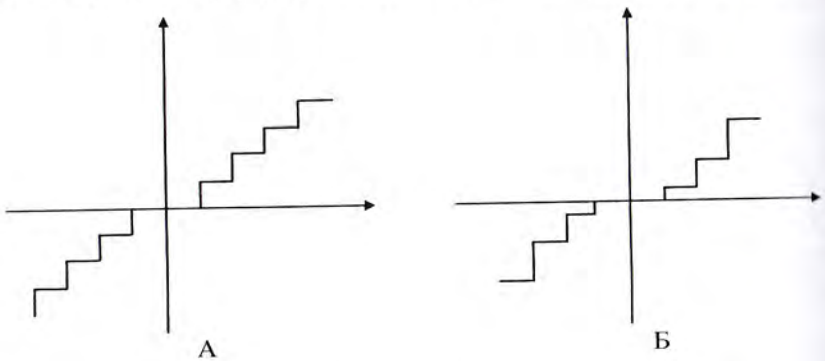
2. *Квантуване* на дискретния сигнал до краен брой N възможни нива (на фигурата са показани 6 нива).

3. *Кодиране* на всяко квантувано ниво в двоичен ($m = 2$) n-разреден код, където очевидно $n = \log_2 N$. На фигурата това води до 3-разредни комбинации ($2^3 = 8$), като тези двоични комбинации съответстват на двоичния запис на числата от 0 до 7.

На практика времето Δt, което се полага на един разред, се избира достатъчно малко, така че времетраенето на една кодова комбинация $t_k = n \cdot \Delta t$ да бъде $t_k << t_d$. Това позволява в един интервал на дискретизация да се предадат и комбинациите на много други сигнали с импулсно-кодова модулация и така да се извърши уплътняване на съобщителната верига по време. Предаваните кодови комбинации обикновено се подлагат на многократни регенерации по цифровия съобщителен тракт и в приемната страна аналоговият сигнал $x(t)$ се възстановява с известна грешка до $x^*(t)$.

Импулсно-кодовата модулация представлява аналого-цифрово преобразуване на сигналите, което при предаване в съобщителни системи е съчетано и с цифрова обработка.

Квантуването на дискретизирания сигнал се прави по два начина:



Фиг. 3.8. Квантуване на дискретизирания сигнал

- линейно (фиг. 3.8 А), при което нивата на квантуване са разположени на еднакви разстояния едно от друго, и
- нелинейно (фиг. 3.8 Б), при което слабите сигнали се квантуват през по-малък интервал от нива, а силните – през по-голям. Тъй като вероятността за поява на слаби сигнали е по-голяма (особено при говорни сигнали), грешката (шумът при нелинейното квантуване) чувствително намалява. Нелинейното квантуване се реализира чрез компресия (свиване) на динамичния диапазон, при което се повишава "важността" на ниските нива и се понижава тази на високите. В приемната страна се извършва обратната операция разширение (експанзия) на сигнала. Двете операции – компресия и експанзия – се наричат общо компандиране на сигнала. Компресията може да се извърши по хиперболичен, експоненциален или логаритмичен закон.

Компресията може да се извърши аналогово – преди дискретизацията, или цифрово. През последните години компандирането се извършва примерно по цифрови методи и следователно също е вид цифрова обработка на сигналите.

4.1. Пропускателна способност на системите с импулсно-кодова модулация

Пропускателната способност се определя от максималната скорост на предаване на информацията през дадено съобщително съоръжение.

Както бе казано по-горе, дискретизацията се извършва с честота $f_d = 2f_m$. Всяка от получените дискретни стойности (отчети) се предава с n импулса, където n е броят на разредите в двоичното число, което изразява стойността на сигнала в съответния момент от времето. Тогава честотата на импулсите ще се увеличи n пъти. Така се получава тактовата честота, използвана в системите с импулсно-кодова модулация, която е

$$f_t = 2 f_m n = f_d n,$$

където $n = \log_2 N = \log_2 S_{mAx}/\Delta h$.

Тогава $f_t = 2 f_m \log_2 N$.

В една система с r канала очевидно са необходими r пъти повече импулси, или нейната честотна лента ще бъде

$$f_{tr} = 2 r f_m \log_2 N.$$

Наличието на импулси и фактът, че всеки от тях е носител на 1 бит информация, дава основание за характеризирането на такива системи чрез пропускателната способност C. Тя се изразява с количеството информация (I), пропускано от канала за единица време,

т.е. $C = I / t$. В случая количеството информация за 1 секунда се изразява чрез броя на импулсите за същото време. Ето защо пропускателната способност на един канал е:

$$C_1 = 2 f_m \log_2 N \text{ bit/s} = 2 f_m n \text{ bit/s},$$

а за система с r канала

$$C_r = 2 r f_m \log_2 N \text{ bit/s} = 2 r f_m n \text{ bit/s} = r C_1.$$

5. Видове съобщителни канали. Пропускателна способност на дискретни и непрекъснати канали

В контекста на съобщителна система съобщителен канал е всичко без източника и получателя на съобщение. Съобщителен канал се нарича съвкупността от средства, осигуряващи предаване на сигнала от една точка A на системата до друга точка B (вж. фиг. 3.4).

Точки A и B могат да се избират произволно. Необходимо е между тях да преминава сигнал. Ако сигналите, постъпващи на входа на канала и приемани в края му, са дискретни, каналът се нарича дискретен (цифров). Ако входните и изходните сигнали са непрекъснати, каналът се нарича непрекъснат (аналогов).

Каналите в зависимост от предадения и приет сигнал биват:

- дискретни – и предаденият, и приетият сигнал са дискретни;
- непрекъснати – и предаденият, и приетият сигнал са непрекъснати;
- дискретно непрекъснати – подава се дискретен сигнал, а се приема непрекъснат;
- непрекъснато дискретни – подава се непрекъснат сигнал, а се приема дискретен.

В една и съща съобщителна система могат да се отделят както дискретен, така и непрекъснат канал. Всичко зависи от това, как са избрани точки A и B за вход и изход на канала.

Обобщена характеристика на непрекъснатия канал е неговият обем:

$$V_k = T_k F_k D_k.$$

Необходимо условие за неизкривено предаване по канала е: $V_c \le V_k$ и следователно в най-простия случай следва:

$$T_c \le T_k;\ F_c \le F_k;\ D_c \le D_k.$$

Възможно е обаче за сметка на намаление на единия параметър да се увеличи друг.

Например телефонен сигнал с честота F_c = 3 kHz, записан на магнитна лента, може да се предаде през канал с честота F_k = 300 Hz със скорост равна на 1/10 от скоростта, с която е записан. При това честотата намалява 10 пъти, а времето за предаване през канала T_k се увеличава 10 пъти. При възпроизвеждане в приемната страна записаният върху магнитна лента сигнал се възпроизвежда с 10 пъти по-висока скорост, при което се възстановява първоначалната честота F_c.

По широколентов канал с малък динамичен диапазон D_k могат да се предават сигнали с голям D_c за сметка на честотния спектър.

За изследване на каналите са създадени съответни математически модели.

Моделът на дискретния канал съдържа зададено множество възможни входни сигнали и разпределение на условните вероятности на изходните сигнали при зададени входни.

Дискретният канал с шумове се характеризира с условните вероятности $p(y_i/x_i)$, които показват вероятността да бъде приет сигнала y_i, когато е предаден x_i, т.е. се характеризира с матрицата:

$$\begin{vmatrix} p(y_1/x_1) & p(y_2/x_1) \dots p(y_m/x_1) \\ p(y_1/x_2) & p(y_2/x_2) \dots p(y_m/x_2) \\ . \quad . \quad . \\ . \quad . \quad . \\ p(y_1/x_m) & p(y_2/x_m) \dots p(y_m/x_m) \end{vmatrix}.$$

Входните и изходните сигнали са последователност от кодови символи.

Входният сигнал се определя чрез m различни символа (където m е основа на кода) и Δt – време за предаване на всеки символ, и

съответно – $1/\Delta t$, което представлява броят символи, предадени за единица време.

Приема се, че всеки символ, постъпващ на входа на канала, предизвиква появата на един символ на изхода, тъй като техническата скорост на входа и изхода на канала е еднаква.

Възможен запис на връзката между входния и изходния сигнал е:

$$B[n] = A[n] + E[n],$$

където:

$A[n]$ и $B[n]$ са случайни последователности от n символа на входа и съответно изхода на канала;

$E[n]$ е случаен вектор на грешката, която в общия случай зависи от $B[n]$.

Грешката в дискретния канал играе роля, подобна на смущенията в непрекъснатия канал.

По-важни модели на дискретни канали са:

- *Симетричен канал без памет* – дискретен канал, в който всеки предаден кодов символ може да бъде приет погрешно с фиксирана вероятност p_0 и правилно – с вероятност $1 - p_0$, при което в случай на грешка вместо предадения символ "a" може с равна вероятност да се приеме който и да е друг символ. В такъв случай вероятността да се приеме b_j при предаден a_i е:

$$p(b_j/a_i) = p(m\text{-}1) \quad \text{при } i \neq j$$

$$p(b_j/a_i) = 1 - p \quad \text{при } i = j.$$

"Без памет" означава, че вероятността за грешно приемане на символа не зависи от предисторията, т.е. от това, какви символи са се предавали преди него и как са били приети.

- *Симетричен канал без памет с изтриване* – азбуката на изхода на канала съдържа допълнителен $(m + 1)$-ви символ, означаван със знака "?". Този знак се появява, когато демодулаторът не може да разпознае надеждно предавания символ.
- *Несиметричен канал без памет* – грешките се появяват независимо една от друга, но вероятността за грешка зависи от предавания символ. Например: в двоичен несиметричен канал вероятността $p(1/0)$ – приемане на 1 при предаване на 0, не е равна на $p(0/1)$ – приемане на 0 при предаване на 1. В този модел

вероятността на вектора на грешката зависи от това, каква последователност от символи се предава.

- *Марковски канал* – най-прост модел на дискретен канал с памет. При него вероятността за грешка зависи от това, правилно или погрешно е приет предходният символ, но не зависи от това, какъв символ се предава.
- *Канал с адитивен дискретен шум* – обобщен модел на симетричните канали. При него вероятността на вектора на грешката $E[n]$ не зависи от предаваната последователност. Вероятността на всеки вектор на грешката се счита зададен и не се определя от теглото му (т.е. от броя единици във вектора). В много канали от два вектора с еднакво тегло по-вероятен се оказва този, в който единиците са разположени близко една до друга, т.е. има тенденция към групиране на грешките.

5.1. Информационни параметри на съобщенията и сигналите

За да се сравняват помежду си различни източници на съобщения и различни съобщителни канали, е необходимо да се въведе количествена мярка, позволяваща да се оцени съдържащата се в съобщението и пренасяна от сигнала информация. За целта ще използваме наученото от теория на информацията.

1. Количеството информация $I(a_i)$, съдържащо се в символа a_i, който се избира с вероятност $p(a_i)$ от ансамбъла съобщения $\{a_i\}$ при $i = 1, 2, ..., k$, където k е обемът на азбуката, се определя като

$$I(a_i) = -\log_2 p(a_i).$$

Тази характеристика определя информативността при избора на символа a_i за "неподготвения" получател и въобще не отчита нито смисловото съдържание, нито субективната ценност на предаваните съобщения.

Да си припомним, че 1 bit е количеството информация, съдържащо се в единия от два избирани с равна вероятност символи.

2. Ентропията на ансамбъла от независими съобщения характеризира средното количество пълна информация, съдържаща се в едно съобщение. Тя се изразява със:

$$H(A) = -\Sigma p(a_i) \log_2 p(a_i)$$

и представлява средното количество информация, която се съдържа в един случайно избран символ a_i, подаван от дискретен източник на независими съобщения с обем на азбуката K.

3. Информацията, съдържаща се в един ансамбъл относно друг (например в приетия сигнал спрямо предадения сигнал), се определя с помощта на взаимната информация, а именно

$$I(A, B) = I(B, A) = H(B) - H(B|A) = H(A) - H(A|B),$$

т.е. B съдържа толкова информация относно A, колкото A съдържа относно B. Във формулата:

$I(A, B)$ е средно количество информация за един символ, съдържащо се в изходната последователност $B(t)$ относно входната последователност $A(t)$;

$H(A)$ – ентропия на входния източник на канала;

$H(B)$ – ентропия на изхода на канала, създадена от източника;

$H(B|A)$ – ентропия на шума в дискретен канал;

$H(A|B)$ – ненадеждност на канала или загуба на информация при преобразуване на A в B. Тя показва степента на неопределеност на входните символи $A(t)$, при условие че е приета последователността $B(t)$. Това означава, че при приет символ b_j не може напълно определено да се твърди кой символ a_i е бил предаден. Следователно част от информацията, съдържаща се в символ a_i, се е загубила. $H(A|B) = 0$ само когато преобразуването от A в B е обратимо, т.е. когато от ансамбъла B може еднозначно да се възстанови ансамбъл A.

Двата дискретни ансамбъла A и B, които общо погледнато са зависими, могат да се разглеждат като:

- двойка ансамбли от съобщения;
- ансамбли от съобщение и сигнал, посредством който се предава съобщението;
- ансамбли от сигнали на входа и изхода на съобщителния канал.

4. Ако T е средното време за предаване на едно съобщение, то $I'(A, B)$ се нарича скоростта на предаване на информация от A към B или обратно от B към A и се определя чрез

$$I'(A, B) = (1/T)\, I(A, B) \text{ или}$$

$$I'(A, B) = H'(A) - H'(A|B) = H'(B) - H'(B|A),$$

където:

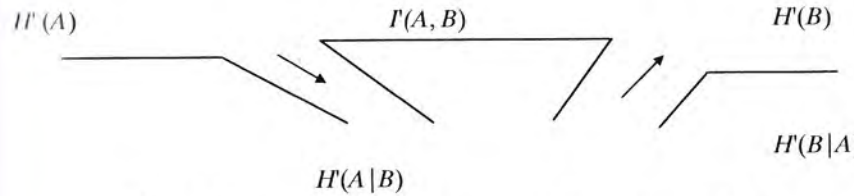
$H'(A)$ е производителността на източника на предавания сигнал A;

$H'(B)$ – производителността на канала;

$H'(A|B)$ – скоростта на "утечка" на информацията при преминаване през канала;

$H'(B|A)$ – скоростта на предаване на странична информация, създавана от наличните смущения в канала и нямаща отношение към източника A.

Тази формула нагледно се илюстрира с фиг. 3.9.



Фиг. 3.9. Нагледно представяне на формулата за $I'(A, B)$

Например при предаване на телефонен сигнал по канал с тясна честотна лента, недостатъчна за удовлетворително възпроизвеждане на сигнала и с малко количество смущения, се губи част от полезната информация, но почти не се получава безполезна. В този случай $H'(A|B) >> H'(B|A)$. Ако обаче сигналът се възпроизвежда точно, но в паузите ясно се чуват "наводки" от съседен телефонен канал, то без почти никак да се губи полезна информация може да се получи много допълнителна информация, която по правило е безполезна, т.е. $H'(A|B) << H'(B|A)$.

5.2. Основни характеристики на съобщителните канали

1. *Пропускателна способност на канала* – фундаментално теоретично понятие, определящо потенциалните възможности на съобщителните системи, използващи даден канал. Представлява максималната скорост на предаване на информация.

2. *Шумоустойчивост* (устойчивост на смущения) – способност на системата да се противопоставя на вредното влияние на смущенията при предаване на съобщения.

3. *Закъснение* – максималното време между момента на подаване на съобщение от източника към входа на предавателното устройство и момента на поява на възстановеното съобщение на изхода на приемното устройство.

За да определим пропускателната способност на дискретен канал, ще разгледаме канал, по който за единица време се подават v символа от азбука с обем m. При предаване на всеки символ по канала преминава средно количество информация $I(A, B)$

$$I(A.B) = H(A) - H(A \mid B) = H(B) - H(B \mid A),$$

където A и B са случайни символи на входа и изхода на канала.

Ентропията $H(A)$ се определя от източника на дискретния сигнал и не зависи от свойствата на канала. Останалите три ентропии в общия случай зависят както от източника на сигнала, така и от канала.

Нека на входа на канала се подават символи от различни източници, които се характеризират с различно разпределение на вероятностите $p(A)$. За всеки такъв източник количеството информация, предавано по канала, приема своя стойност. Максималната предавана информация от всевъзможни източници на входния сигнал характеризира канала и се нарича пропускателна способност на канала.

Пропускателната способност на канала за единица време се определя чрез

$$C = max\, I'(A, B) = v\, max\, I(A, B) = v\, max\, [H(B) - H(B|A)] \text{ bit/s},$$

където v е скоростта на предаване на символи по канала за 1 s.

За двоичен дискретен канал $H(B)_{mAx} = 1$ bit, а

$$H(B|A) = -p_0 \log_2 p_0 - (1 - p_0) \log_2 (1 - p_0),$$

където p_0 е вероятността за грешно възприемане на символ. Оттук пропускателната способност на двоичен дискретен канал се получава

$$C = v\, [1 + p_0 \log_2 p_0 + (1 - p_0) \log_2 (1 - p_0)] \text{ bit/s}.$$

За двоичен дискретен канал без шум $H(B|A) = 0$ и тогава $C = v$ bit/s. Пропускателната способност на непрекъснат канал е:

$$C = \Delta F \log_2 (1 + P_c/P_ш) \text{ bit/s},$$

където:

ΔF е пропусканата честотна лента;

P_c – мощността на полезния сигнал;

$P_ш$ – мощността на шума.

6. Телеграфен и телефонен сигнал

6.1. Същност и значение на телеграфните съобщения

Телеграфната връзка е една от първите и най-използвани видове връзки, осигуряваща бързо и документално предаване и приемане на телеграфни съобщения на голямо разстояние с помощта на електрически ток. Предмет на тези съобщения могат да бъдат писмен текст, снимки, чертежи, вестници и др. неподвижни изображения (но не говор, музика и подвижни изображения, които се предават чрез телефон, радио, телевизия).

Наименованието телеграфия произлиза от теле – далечина, и граф – пиша, т.е. "писане на далечно разстояние".

Телеграфията се разделя на:

- постояннотокова;
- променливотокова;
- образна.

Постояннотоковата телеграфия се занимава със средствата и начините за предаване на телеграфни съобщения с постоянен ток, които са намирали широко приложение в първоначалния етап на развитие на телеграфните съобщения.

Впоследствие тенденцията в развитието на телеграфните съобщения е била да се отговори на изискването за максимално уплътняване на линиите, при което се използва променлив ток с различни носещи честоти. Този тип телеграфия се нарича *променливотокова телеграфия*.

Образната телеграфия се характеризира с това, че при нея е възможно предаването на неподвижни изображения на голямо разстоя-

ние посредством електрически ток. За целта в предавателната страна съобщението (оригиналният документ) се преобразува в електрически сигнали с амплитуда, пропорционална на яркостта на отделните елементи на съобщението. В приемната страна приетите електрически сигнали чрез приемното устройство възпроизвеждат предаденото съобщение. Образната телеграфия се нарича още аналитична телеграфия, защото в предаващата страна се извършва анализиране на съобщението, а в приемната то се синтезира.

Телеграфната техника се характеризира със следните особености:

- Документиране на приетото съобщение чрез записването му върху хартиена лента по условен начин: чрез перфориране на хартиената лента или отпечатване на знаците в оригиналния им вид върху хартиена лента или бланка.
- Висока производителност на телеграфните апарати – разработени са нови методи, подобни на методите при телевизионното предаване (свръхбързодействащи телеграфни апарати), при които производителността достига до 10^6 думи/минута.
- Устойчива работа на телеграфните апаратури при значителни смущения.
- Голяма използваемост на пропускателната способност на каналите – по един телефонен канал с честотна лента 300 – 3400 Hz могат да се създадат 64 телеграфни връзки.
- Запазване тайната на кореспонденцията.
- Общодостъпност на телеграфните услуги и относително ниска стойност.

В развитието на телеграфията могат да се разграничат основно два етапа:

Първият е от дълбока древност до откриване на електричеството и първите опити за практическо приложение. В този период предаването на съобщения се извършва с примитивни средства – светлинни и звукови сигнали (огньове, флагове, свирене, биене на тъпани и др.).

Вторият е от откриване на електричеството до наши дни.

Първият електромагнитен телеграфен апарат е построен от руския изобретател Шилинг през 1832 г. Известен е като мултипликаторен телеграф.

През 1837 г. американецът Самюел Морз конструирал първия пишещ електромагнитен телеграфен апарат. Този апарат записвал на

хартиена лента приеманите телеграфни знаци във вид на точки и тирета по създадения от Морз телеграфен код.

През периода 1839 – 1850 г. руският академик Якоби създал няколко вида телеграфни апарати: пишещ, стрелкови апарат със синхронно-синфазно действие и първия в света буквопечатащ телеграфен апарат.

През 1855 г. американският изобретател Хюг е създал буквопечатащ телеграфен апарат с непрекъснато въртящо се типово колело. Предаването с този апарат се извършва посредством 28-клавишна клавиатура (с бели и черни клавиши).

През 1867 г. е създаден автоматизиран пишещ телеграфен апарат на Уитстон, работещ по кода на Морз.

През периода 1872 – 1876 г. френският конструктор Емил Бодо изобретява многократен телеграфен апарат, който позволява едновременно предаване на няколко телеграми от няколко телеграфисти по една верига.

Новият етап на развитие започва с разработката на старт/стопните телеграфни апарати, които в най-голяма степен отговарят на изискванията за по-добра организация и експлоатация на телеграфните връзки – малки размери, наличие на клавиатура, подобна на пишещите машини, и простота при експлоатацията им. По външен вид те приличат на обикновени пишещи машини. Поради това са получили наименованието далекопишещи машини (телетайп).

Променливотоковата телеграфия с носещи честоти се създава и развива след 1920 г.

Първата телеграфна връзка у нас е между Русе и Варна през 1856 г., а през 1910 г. се осъществява радио-телеграфна връзка София – Виена.

През 1931 г. у нас се въвеждат високочестотни телефонни и честотни телеграфни уредби.

В гентексната мрежа са включени телетипните машини на Н.Т.Т. станции. Тази мрежа служи за предаване на телеграми. В телетексната мрежа са включени телетипните машини на телексните абонати.

6.2. Телеграфни кодове

За предаване на телеграфни знаци с помощта на електрически ток е необходимо на всеки знак да съответства точно определена

комбинация от електрически импулси. Тези комбинации образуват т.нар. телеграфна азбука или телеграфен код. (Следователно той е условна азбука, удобна за предаване на телеграфни знаци посредством електрически ток.) Най-късият импулс, въз основа на който е създаден даден код, се нарича елементарен импулс или елемент на кода. Продължителността му се означава с t_s. Понятието елементарен импулс има голямо значение при оценяването на кодовете и качествата на телеграфните апарати и съоръжения.

Телеграфните кодове могат да бъдат съставени въз основа на два принципа – селекционен (цикличен) и комбинаторен.

При селекционния принцип всеки телеграфен знак се предава само с един токов импулс, който се изпраща в точно определен момент спрямо импулсите на останалите знаци за един оборот на предавателния разпределител. Такива кодове са били използвани при старите телеграфни апарати на Хюг, Якоби и др.

При комбинаторния принцип всеки знак се предава с определена комбинация от електрически импулси. Импулсите от кодовите комбинации могат да се различават по продължителност, полярност, амплитуда и др.

Според вида на използваните импулси в кодовите комбинации комбинационните кодове могат да бъдат двоични, троични и др.

Най-голямо приложение намират двоичните кодове, при които се използват два вида импулси – токови и безтокови, положителни и отрицателни. За приемане на импулсите се използват релета, електромагнити, тригери и други устройства с две устойчиви състояния.

Видът на импулсите може да бъде означен с 0 и 1 от двоичната бройна система.

Според броя на импулсите в една кодова комбинация телеграфните кодове биват равномерни и неравномерни.

6.2.1. Равномерни кодове

Броят на възможните кодови комбинации при равномерните кодове е

$$N = a^n,$$

където:

N е броят на възможните комбинации;

a – броят на използваните видове импулси;

n – броят на елементарните импулси в една кодова комбинация.

При бройните 5-елементни кодове, които се използват в телетипните машини, $a = 2$, а $n = 5$. Следователно броят на възможните комбинации е 32. Тези комбинации не са достатъчни за предаване на всички телеграфни знаци (букви, цифри и др.). Това налага телеграфните апарати, които работят с такъв код, да бъдат снабдени със специализирано устройство, наречено регистров механизъм. Регистровият механизъм позволява с една и съща кодова комбинация да се предадат два и повече телеграфни знака.

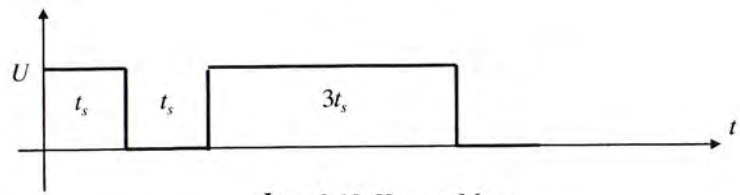
Главното предимство на равномерните кодове се състои в това, че работещите с тях буквопечатащи телеграфни апарати имат просто устройство. Благодарение на това те намират най-широко приложение в съвременната телеграфна техника.

Всички телетипни машини у нас и в чужбина работят с препоръчания от *ITU-T* двоичен 5-елементен код, наречен международен телеграфен код № 2. Освен него се използва и двоичен 5-елементен код на Бодо.

6.2.2. Неравномерни кодове

Към тях спадат кодът на Морз и кабелният код.

Кодът на Морз се характеризира с това, че всеки знак се предава с определена комбинация от различен брой къси и дълги токови импулси, разделени с безтокови интервали (фиг. 3.10).



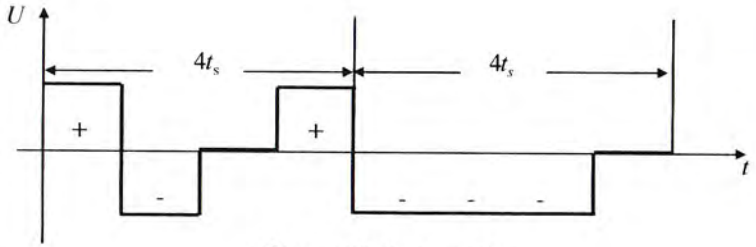
Фиг. 3.10. Код на Морз

Късите импулси представляват условно "точки", а дългите – "тире". Точката е равна на един елементарен импулс, а тирето – на 3 елементарни импулса. Безтоковите импулси са интервали между токовите импулси в комбинацията. Продължителността им е равна

на един елементарен импулс. За отделяне на знак от знак и дума от дума се използват безтокови интервали, равни съответно на 3 и 5 елементарни импулса. Тези импулси се наричат разделителни.

Предимство на кода на Морз е, че телеграфните сигнали могат да се предават, приемат и условно да се записват с прости устройства, а също да се приемат на слух. Недостатък е неравномерността на комбинациите, което затруднява построяването на буквопечатащ апарат. Освен това средният брой импулси за 1 знак е по-голям, отколкото при равномерните кодове.

Кабелният код е съставен въз основа на кода на Морз (фиг. 3.11). При него се използват 3 вида импулси – положителни, отрицателни и безтокови. Точките се представят с положителни импулси с продължителност 1 елементарен импулс, тиретата – с отрицателен импулс с продължителност 1 елементарен импулс. Интервали в комбинацията няма. Интервалът между знаците е безтоков с продължителност 1 елементарен импулс, а между думите – безтоков с продължителност 2 елементарни импулса.



Фиг. 3.11. Кабелен код

Кабелният код е по-икономичен от кода на Морз (средният брой импулси на знак е равен на 4), но не може да се приема на слух. Използва се за телеграфиране при дълги морски кабели, където няма смущения и се работи с много слаб ток.

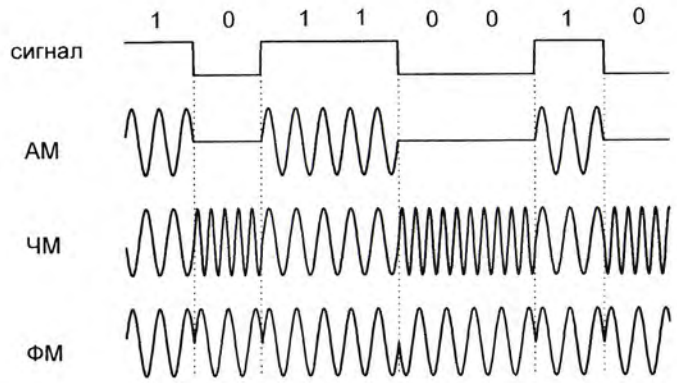
6.3. Телеграфна модулация

Преобразуването на телеграфните знаци в електрически сигнали от предавателя на телеграфния апарат се нарича телеграфна модулация. Тя се състои в изменение на един от параметрите на постоянния или променлив ток.

При телеграфирането с постоянен ток се изменят или амплитудата, или посоката (полярността) му. В първия случай модулиращият сигнал представлява последователност от токови и безтокови импулси. Във втория случай – последователност от положителни ("+") или отрицателни ("–") импулси.

При телеграфирането с променлив ток се изменя един от параметрите на синусоидалния ток (i): амплитуда (A), честота (f) и фаза (φ) (фиг. 3.12).

$$i = A \sin(\omega t + \varphi), \text{ където } \omega = 2\pi f.$$



Фиг. 3.12. Телеграфна модулация

Моментите, в които рязко се изменя един от параметрите на електрическия ток, се наричат характеристични моменти на модулация (ХММ).

В зависимост от това, кой параметър на носещото трептение се модулира, се различават: АМ – амплитудна модулация, ЧМ – честотна модулация, ФМ – фазова модулация. Понякога при модулацията се използват едновременно два и повече от тези параметри.

При предаване на двоични сигнали модулираният сигнал се характеризира с 2 различни състояния: 2 амплитуди – при АМ, 2 честоти – при ЧМ, и 2 фази – при ФМ.

При предаване и приемане е необходимо еднозначно и постоянно съответствие между двете стойности на амплитудата, честота-

та или фазата на модулирания сигнал и двете стойности на елементите на двоичния код (0 и 1).

При амплитудната модулация на токовия импулс на двоичния код съответства наличие на сигнал с носеща честота f_0, а на безтоковия – липса на сигнал.

При честотна модулация носещата честота приема две стойности $f_в$ и $f_н$. При това $f_в > f_н$.

При фазовата модулация фазата на носещата честота се изменя на 180 градуса при всяко преминаване от "1" в "0" и обратно. Практическата реализация на ФМ среща затруднения поради това, че всяко произволно изменение на фазата на приемния генератор на каналообразуващата апаратура на 180 градуса (вследствие на смущения и кратковременни прекъсвания при приемане на сигнала) води до негативно (инвертирано) приемане. След смяната на фазата на генератора всички следващи нули ще се възпроизвеждат като единици, а всички единици като нули.

Този недостатък се отстранява чрез използване на относителна фазова модулация (ОФМ). В този случай изменение на фазата на носещата честота се получава само в случай на предаване на един от двоичните символи (0 или 1).

6.4. Скорост на телеграфиране

Един от основните показатели за качествата на телеграфните апарати е скоростта на телеграфиране. Тя се определя с броя на предадените елементарни импулси за 1 секунда. Единицата за измерване на скоростта се нарича бод (Bd) в чест на френския изобретател Емил Бодо. (Скоростта на предаване, измерена в bit/s, е по-малка от скоростта на предаване, измерена в Bd, тъй като в последната се включват всички импулси, предадени по канала – както информационни, така и служебни.) Между скоростта на телеграфиране n_s и продължителността на елементарния импулс t_s съществува следната зависимост:

$$n_s = 1 / t_s \text{ Bd.}$$

$$\text{Ако } t_s = 0.020\,s, \text{ то } n_s = 1/0.020 = 50 \text{ Bd.}$$

Скоростта на телеграфиране на телеграфните апарати, работещи с кода на Морз, е:

$$n_s = Д \,.\, 9 \,.\, 7 \,/\, 60 = 1.05\, Д \text{ Bd,}$$

където:

Д е броят предадени думи в минута;

9 – средният брой елементарни импулси за 1 буква по кода на Морз;

7 – средният брой букви в една българска дума.

Скоростта на телеграфиране на телетипните машини, които работят с 5-елементен равномерен код, е

$$n_s = 7{,}5 \,.\, n_0 \,/\, 60 \text{ Bd,}$$

където:

n_0 е честотата на въртене (брой на оборотите) на предавателния разпределител за 1 минута;

7,5 – броят елементарни импулси, предавани за 1 оборот на предавателния разпределител (5 кодови + 2,5 корекционни импулса).

Например при телетипната машина Т-63, чийто предавателен разпределител се върти с честота 400 об/min, скоростта на телеграфиране е:

$$n_s = 7{,}5 \,.\, 400 \,/\, 60 = 50 \text{ Bd.}$$

Скоростта на телеграфиране $n_s = 50$ Bd е приета за стандартна и почти всички телетипни машини у нас работят с тази скорост.

Друго понятие, което характеризира телеграфното предаване и не трябва да се смесва със скоростта на телеграфиране, е честотата на телеграфиране

$$F = n_s \,/\, 2 \text{ Hz.}$$

Тя представлява основната хармонична на елементарните импулси.

6.5. Производителност на телеграфните апарати

Теоретичната производителност на телеграфния апарат се определя с максималния брой думи, които той може да предаде или да приеме при непрекъсната работа за 1 час. Тя е

$$A = 3600 \,.\, n_s \,/ a \,.\, b \text{ думи/час,}$$

където:

A е теоретичната производителност;

n_s – скоростта на телеграфиране, Bd;

a – средният брой букви в 1 дума;

b – средният брой елементарни импулси за 1 знак.

Тази производителност зависи от кода и типа на телеграфния апарат.

Техническата производителност на телеграфния апарат се определя само от полезното предаване на текст. Всички други служебни предавания не се вземат предвид. Определена в думи за 1 час, техническата производителност е с 10 % по-малка от теоретичната производителност.

Експлоатационната производителност на телеграфния апарат се определя, като се вземат предвид освен загубите от служебните предавания и загубите, които се дължат на експлоатационните качества на апарата и на нееднаквата квалификация на телеграфистите.

6.6. Телефонен сигнал.
Определяне честотната лента на телефонния сигнал

При определяне честотната лента на телефонния сигнал се вземат предвид следните съображения:

1. Честотната лента на човешкия глас е от 80 Hz до 10 – 12 kHz. Всеки гласен звук се състои от един основен тон с честота $f = f_0$ и още множество други съставни тонове с по-високи честоти, наречени обертонове ($2f_0$, $3f_0$, ..., nf_0). Наличието на система от резонатори (гърлена, носна, устна) предизвиква изменение на обертоновете – амплитудите на едни се усилват, а на други намаляват. Характерните за различните звуци усилени честотни области се наричат формантни. Характеристиката на тези форманти (честота и амплитуда) не е абсолютно фиксирана и у всеки индивид съществуват известни отклонения. Те оформят тембъра.

Установено е от изследване на различни езици, че най-голям процент от звуковете имат формантни области в честотни граници от 300 до 3000 – 3600 Hz. Това дава основание техническите съоръжения, участващи в пренасяне на говора, да пропускат сигнали само в този честотен спектър вместо от 80 – 10 000 Hz. Ограничението на

спектъра не влошава разбираемостта на говора, а значително поевтинява техническите съоръжения на връзките.

2. Звуковите трептения, създадени от човека при говор, имат малка звукова мощност. При нормален говор върху мембраната на един микрофон се създава $P_{звук} = 3$ μW; при викане – 1000 μW; при шепот – 0.01 μW.

Динамичният обхват D определя границите на изменение на звуковата мощност от минималната до максималната и се дефинира чрез

$$D = 10 \lg (P_{mAx} / P_{min}) \text{ dB}.$$

За граничните стойности на звуковата мощност $P_{max} = 5000$ μW. Тогава

$$D = 10 \lg (5000 / 0.01) = 57 \text{ dB}.$$

Разпределението на звуковата мощност на говора по честоти е, както следва:

- около 65 % от цялата звукова мощност е в честотната лента до 500 Hz;
- около 94 % от цялата звукова мощност е в честотната лента от 80 до 2000 Hz.

Това разпределение на звуковата енергия при говор също дава основание разговорната честотна лента да се ограничи до 3 – 3.6 kHz. (Силата на звука е субективно усещане на определена звукова интензивност.)

3. За качествена оценка на телефонния тракт по отношение на разбираемостта на предаваната реч се използва методът на артикулацията. Същността на метода се състои в следното: в предаващия край на разговорния тракт пред микрофона се произнасят определен брой букви, срички или думи. В приемната страна те се записват от оператор и след приключване на предаването се сравняват с предадените. Отношението на броя на правилно приетите букви, срички или думи към общия брой на предадените, изразено в проценти, се нарича разбираемост. Тя може да бъде буквена, сричкова или словесна. Най-голямо приложение намира методът на оценка на разбираемостта със срички, който е приет като основен метод на артикулацията.

Качеството на сричковата разбираемост (S) се оценява, както следва:

при $S \le 40$ % – лоша; при 40 % $< S <$ 60 % – задоволителна; при $S \ge$ 60 % – добра.

$S = m/50 \cdot 100\ \%$, където m е броят на правилно приетите срички, а 50 е общият брой срички.

От практически изследвания е установено, че разбираемостта почти не се променя, ако телефонният тракт пропуска честота по-голяма от 4 kHz в сравнение с разбираемостта до 3 – 3.6 kHz. Това се обяснява с факта, че формантните области, които характеризират отделните звукове (а, б, в ...) на говора, лежат в честотния обхват до 3 kHz.

Въз основа на тези технически изследвания и по икономически съображения ITU-T препоръчва да се използва честотна лента от 300 до 3400 Hz.

7. Системи за предаване на данни

7.1. Основни характеристики на предаване на данни

Предаването на данни (ПД) става чрез устройства за предаване на данни и канали за връзка, които общо образуват система за предаване на данни (СПД).

Съобщенията и съответните сигнали, чрез които става предаването им, биват непрекъснати (аналогови) и дискретни (цифрови).

Въвеждането на информация в компютрите (*К*), които по същество са машини с дискретно действие, се извършва най-често в двоична форма. В такава форма се предават на абонатите и получените резултати. Освен това обменът на информация между два или повече компютъра се извършва също чрез двоични сигнали.

Използването на двоични сигнали и импулсни методи при предаването на данни прави тази техника близка до телеграфната техника. По основни характеристики обаче – скорост на предаване, достоверност, надеждност и пр., то съществено се различава от класическата телеграфна връзка. Основните разлики са:

1. Качеството при предаване на данни трябва да бъде значително по-високо, отколкото при телеграфните съобщения. За оценката му се използва понятието достоверност, което се определя като отношение на броя на вярно приеманите знаци към общия брой предавани знаци.

Системите за предаване на данни трябва да осигуряват много по-голяма достоверност в сравнение със системата на телеграфните

съобщения, тъй като по форма цифровата информация не е пригодена за непосредствено възприемане. Тази информация няма излишък и трябва да се предава точно. Ето защо няма възможност грешките, допуснати при предаването ѝ, да бъдат коригирани по смисъл, както обикновено това става при телеграфните съобщения. Грешките в приетата за машинна обработка информация могат да обезценят напълно по-нататъшното ѝ обработване или да предизвикат фатални последствия поради грешно получени резултати. Ето защо, ако при телеграфните съобщения се допуска средно една грешка на 10 хиляди предадени знака, работата се счита за отлична. Ако се отнася за предаване на данни между два компютъра, такава степен на достоверност е незадоволителна. В подобни случаи се допуска 1 грешка на 10^6 знака, т.е вероятност за грешка 10^{-6}, а в отделни случаи и 10^{-9} до 10^{-10}.

Изследванията показват, че съществуващите съобщителни канали у нас не осигуряват голяма достоверност (например при телефонни канали вероятността за грешка е 10^{-3} до 10^{-5}). Ето защо се използват специални методи за повишаване на достоверността и се работи по създаване на широка мрежа от висококачествени канали за връзка (канали с импулсно-кодова модулация, канали чрез изкуствени спътници и др.).

2. Скоростта на предаване на данни е втората съществена разлика от телеграфията. Ако телеграфните предавания се извършват със скорост = 50 – 200 Bd, предаването на изходни данни за компютри, както и резултатът от обработването на данните трябва да се извършват с много по-голяма скорост. Тези скорости за различните звена на системите за автоматизирано управление могат да бъдат стотици, хиляди, а понякога и десетки хиляди бода. Това, разбира се, съвсем не изключва възможността отделни информационни източници да предават данни със скорост = 50, 75, 200 Bd. Скоростното предаване на данни е необходимо по редица причини, но то е особено наложително, когато се отнася до директен обмен на информация между различни компютри, които могат да извършват до 200 хиляди и повече операции в секунда.

Високите скорости на предаване на информация по каналите за връзка са едно от средствата за решаване на такива съществени проблеми, като противоречието между непрекъснатото нарастване на информационните потоци в съвременното общество и ограничената пропускателна способност на комуникационните системи,

чрез които трябва да се обменя тази информация в местен и международен мащаб.

Стандартизираните от *ITU-T* скорости на предаване са: 50, 100, 200, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 48 000 bit/s и до 500 000 bit/s (при използване на първичен, вторичен и третичен некомутируем канал) и до 20.10^6 bit/s (при телевизионен канал).

3. Надеждността на работа при предаване на данни трябва да отговаря на повишени изисквания, за да осигури безотказно функциониране на системата за определеното време за предаване.

Предаването на данни е сравнително нова, но бързо развиваща се област. То възниква, за да отговори на нуждите на интензивното внедряване на компютрите в период, когато до голяма степен са изградени мрежите от телефонни и телеграфни канали. Естествено и икономически оправдано е предаването на данни да се извършва по наличните съобщителни канали, чиито характеристики в повечето случаи не отговарят на изискванията при този вид предавания.

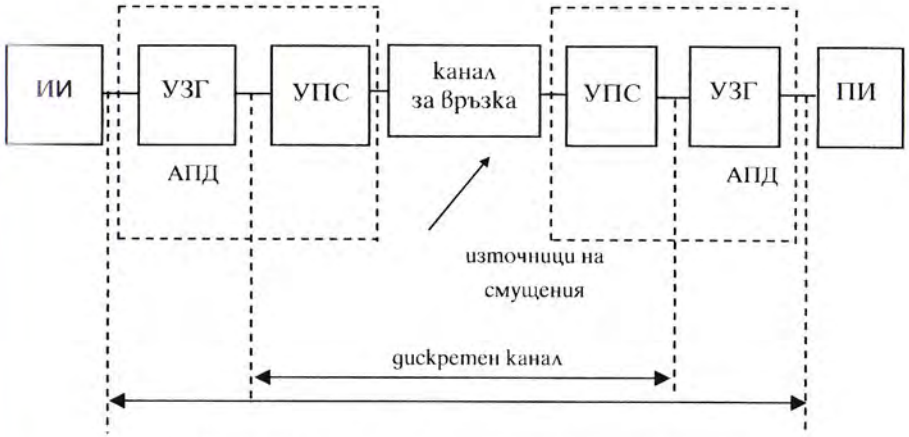
Ето защо се формират две тенденции за развитие или изграждане на мрежите за предаване на данни. Едната поддържа идеята за изграждане на самостоятелна мрежа от канали за предаване на данни независимо от съществуващите телефонни и телеграфни мрежи. Другата предполага създаването на единни мрежи, по които се обменят както телекодова, така и телефонна и всякакъв вид друга аналогова и дискретна информация. Каналите в тези мрежи са комутируеми, но съществуват и отделни дискретни канали, по които се предава телекодова информация с по-високи скорости. За да се осигури това, се предвижда обединяване на два или повече телефонни канала или използване на груповите трактове на уплътнителните телефонни системи.

Интегрирането на предаването на данни с предаване на аналогова информация е твърде рационално решение, което се прилага. Възможност за реализирането му създава импулсно-кодовата модулация. При изпълнението ѝ се осъществява цифрово предаване на всички видове информация: говор, музика, телевизионна програма и цифрови данни.

Различните видове информация се предават посредством едноименни дискретни сигнали. Така се постига унификация на методите на предаване, при която различните видове връзка се отличават само по скоростта на предаване на информация. По този начин съобщителната мрежа се изгражда на базата на единен начин на комутация за предаване на всички видове информация, т.е. създава се единна съобщителна мрежа, а съобщителната мрежа представлява цифрова мрежа с интеграция на услугите (*ISDN*).

7.2. Структурна схема на система за предаване на данни (СПД)

Основните функционални възли на система за предаване на данни (СПД) са показани на фиг. 3.13.



Фиг. 3.13. Система за предаване на данни

Системата за предаване на данни се състои от:

- Източник на информация (ИИ), произвеждащ съобщението – първоначално това е била далекопишеща машина (телетайп) или електрическа пишеща машина, чрез които информацията се е предавала в съобщителния канал. Ако към тази машина се включи записващо устройство, информацията ще се нанася едновременно върху носител (перфолента, перфокарта или магнитна лента), което дава възможност за контрол върху предаването. Източник на информация може да бъде също автоматично фото- или магнитно четящо устройство, преобразуващо съобщението, нанесено върху носителя, в серия от електрически импулси. Обикновено се използва двоична система за предаване на информация чрез електрически импулси поради

предимствата – лесна техническа реализация и добра защитеност от смущения. Устройствата за нанасяне и четене на информация върху носител се наричат устройства за подготовка на данни и понастоящем почти не се използват.

- Устройство за повишаване на достоверността, наричано още устройство за защита от грешки (УЗГ), в което кодовите комбинации на първичния код се преобразуват в комбинации на коригиращ код, позволяващ откриване, а понякога и поправяне на грешките. Това преобразуване се извършва от кодиращо устройство. На устройството за защита от грешки се възлага още първоначално влизане в синхронизация между предавателната и приемната станция и поддържането му по време на работа. Устройствата за защита от грешки преобразуват паралелно приетата информация в последователна, управляват цялостното функциониране на апаратурата за предаване на данни, както и подаването на светлинни и звукови сигнали към операторите.
- Устройство за преобразуване на сигналите (УПС) – осъществява пренасяне на спектъра на двоичните сигнали в работния честотен спектър на съобщителния канал, т.е. превръща постояннотоковите импулси от устройството за защита от грешки в модулирани сигнали. Използват се следните видове модулация: амплитудна модулация (АМ), честотна модулация (ЧМ) или фазова модулация (ФМ) в зависимост от характера на сигналите в съобщителния канал. В приемната страна устройството за преобразуване на сигналите извършва обратно преобразуване на модулираните сигнали в постояннотокови импулси, които след това постъпват в устройство за защита от грешки. Следователно устройството за преобразуване на сигналите представлява модулатор в предавателната страна, а в приемната – демодулатор. Устройството, което изпълнява и двете функции, се нарича модем. Устройството за защита от грешки и устройството за преобразуване на сигналите образуват апаратурата за предаване на данни.
- Получател на информация (ПИ). Първоначално се е използвал перфоратор или устройство за магнитен запис. Нанесената върху носителите информация се прочита от тях и се въвежда в компютъра. Въвеждането на данните в компютъра изисква съгласуване на апаратурата за предаване на данни с компютъра. Това е необходимо, тъй като скоростта на предаване на данни обикновено се ограничава от възможностите на предаване на данни и е много по-малка от скоростта на работа на компютъра. Самото предаване на данни става с последователен код, а въвеждането в компютъра – с паралелен код. Използват се два метода на работа при въвеждането на данни в компютъра: индиректен и директен.

При индиректния метод източникът на информация чрез апаратурата за предаване на данни не подава непосредствено данни към компютъра. Записани на междинен носител в получателя на информация, те се съхраняват и при възможност (свободно машинно време) се въвеждат в компютъра. Обработената информация се извежда от компютъра, записва се на междинен носител и се предава по свободен съобщителен канал към потребителя. Предимствата на индиректния метод са: независимост в работата на АПД и компютъра и възможност за обработка на големи обеми информация, а недостатъците – забавена обработка на информация, невъзможност за работа в диалогов режим и за намеса на оператора в изчислителния процес.

Директният метод осигурява пряко въвеждане и извеждане на информацията от АПД към компютъра. Характеризира се с малко време за отговор и работа в реално време.

Системите с реално време са системи с времеделене на каналите, при което компютърът обслужва много абонати. Тяхното предимство е доброто използване на компютъра и възможността за диалогов режим, което позволява прилагането на компютрите за управление и обработка на информация в различни области.

Съвкупността от стандартния канал за връзка и устройството за преобразуване на сигналите представлява дискретен или двоичен канал. Той е приспособен за предаване и приемане на дискретна информация, но не може да повиши достоверността на предаването.

Съвкупността от дискретния канал и устройството за защита от грешки представлява канал за предаване на данни и е предназначен за предаване и приемане на информация с повишена достоверност.

Блокът източник на смущения отразява наличието на различни смущения, на които е подложен каналът.

При обединяването на два и повече канала за предаване на данни се получава тракт за предаване на данни.

Показаната на фигурата схема осигурява еднопосочно (симплексно) предаване на информация. При дуплексната система за връзка в двата пункта съществуват комплекти за предаване и приемане на информация едновременно в двете посоки по два съобщителни канала. Най-често използваната система за предаване на данни е полудуплексната, при която в двата пункта има пълен комплект апаратура, но предаването се извършва последователно (от абонат към изчислителен център и обратно) само по един съобщителен канал.

7.3. Основни параметри на системите за предаване на данни

Системите за предаване на данни като системи за предаване на дискретна информация се отличават със следните основни характеристики: достоверност, скорост на предаване и надеждност.

С *достоверността* се характеризира степента на съответствие на приетото съобщение с предаденото.

При предаване на дискретни съобщения в приемната страна се получава поредица от импулси, представляваща съответния предаден знак. Ако всички разреди на този знак са приети правилно, знакът е приет също правилно. Ако поне един от разредите е изменен и вместо 1 е приета 0 (1 – 0) или обратно (0 – 1), знакът е приет неправилно.

Съществува разлика между достоверност на дадена дискретна съобщителна система по разред и по знак. За оценка на достоверността се използва отношението на броя на правилно приетите символи на съобщението (знаци, цифри и др.) към общия брой на предадените символи.

На практика обаче по-често се използва понятието загуба на достоверност, която се оценява с честотата на грешките ($p_{гр}$)

$$p_{гр} = n_{гр} / n_{об},$$

където:

$n_{гр}$ е броят неправилно приети символи на съобщението, а

$n_{об}$ – общият брой приети символи.

Честотата на грешките, измерена при реални връзки за кратък интервал от време (1 минута, 1 час), е различна при различни периоди на измерване. Например през нощта грешките са по-малко, отколкото през деня, което се обяснява с намаляване на трафика на смущенията.

Причини за грешки в приетото съобщение могат да бъдат: изкривяването в крайните пунктове, неточности при въвеждането на информация и главно въздействието на смущенията по канала.

Обективната преценка на грешките се получава, когато те се определят за по-голям интервал от време (седмица, месец, година). В този случай загубата на достоверност се определя със средния относителен брой на грешките

$$p_{гр} = lim\ n_{гр} / n_{об} \qquad \text{при} \quad n_{об} \to \infty.$$

Според съществуващите норми на *ITU-T* към системите за предаване на данни се предявяват повишени изисквания за достоверност. В зависимост от конкретните условия се приема $p_{гр} = 10^{-6}$ до 10^{-10}. Тъй като телефонните канали у нас имат достоверност по разред 10^{-3} до 10^{-5}, желаната достоверност по знак може да се постигне чрез устройството за защита от грешки.

За повишаване на достоверността при предаване на информация се използва един от следните начини:

- една и съща информация се предава по няколко независими пътя или едно и също съобщение се предава по канала няколко пъти (мажоритарен метод), като за достоверна се определя тази приета информация, която се повтаря най-много пъти;
- прилагат се коригиращи кодове; при неправилно приета комбинация автоматично се иска повторение; използват се и *EDC* (код за детекция на грешки) и *ECC* (код за корекция на грешки).

Скоростта на предаване на дискретна информация се определя от броя двоични символи, предавани чрез системата за единица време. Тя зависи от източника на съобщение, метода на кодиране и свойствата на линията за връзка.

Пропускателната способност на системата за предаване се определя с максималната стойност на скоростта на предаване при зададени условия, т.е. характеризира потенциалните възможности на системата и не зависи от фактическата скорост на предаване на информация. Тя определя максималната скорост, която може да се реализира при най-добро съгласуване на източника на съобщение с канала за предаване на информация. Пропускателната способност на системата за предаване на дискретна информация зависи от шири-

ната на пропусканата честотна лента, вида на съобщителния канал и съотношението сигнал/шум в него.

При идеални условия (без наличие на смущения) максималната пропускателна способност на дискретна система при предаване на двоични импулси е:

$$C_{mAx} = 2\,\Delta F \text{ bit/s},$$

където ΔF е ширината на пропусканата честотна лента. При реален двоичен канал

$$C_{mAx} = \Delta F \log_2 (1 + P_c/P_ш) \text{ bit/s},$$

където:

C_{max} е максималната пропускателна способност;

ΔF – ширината на пропусканата лента;

P_c – мощността на сигнала;

$P_ш$ – мощността на шума.

Скоростта на предаване при СПД се определя от количеството полезна информация, предадена за единица време (1 секунда).

Тъй като при предаване на двоични сигнали един информационен елемент носи една единица информация (1 bit), скоростта на предаване на данни (N) се измерва с броя на информационните битове, предадени за една секунда – bit/s.

Понеже при предаването на данни заедно с информационните елементи се предават и служебни, скоростта на предаване на данни е по-малка от скоростта на предаване на всички импулси по канала

$$n_s = 1/t_s \text{ Bd}.$$

Използваната в телеграфната техника единица Bd се отнася за скоростта на телеграфиране, която се определя от броя на всички предадени импулси по канала за 1 s, а единицата bit/s за скоростта на предаване на данни се определя само от броя на информационните елементи, предадени за 1 s.

Изискванията по отношение скоростта на предаване на данни и достоверността са противоположни. Колкото скоростта на предаване е по-голяма, толкова достоверността е по-малка и обратно. Тъй като скоростта на предаване на данни зависи от пропускателната способност на канала, основно изискване при предаване на данни е осигуряване на максимална скорост на предаване при зададена достоверност.

Надеждността характеризира свойството на системата нормално да изпълнява всички свои функции. Надеждността на СПД се характеризира със средното време на работа, през което се пада един отказ. Времето T_{omk} е най-прост и често употребяван критерий за надеждност. На практика стойността му се определя въз основа на статистически данни:

$$T_{omk} = (\sum_{i=1}^{N} t_i) / n,$$

където:

t_i е времето на безотказна работа между две последователни повреди;

n – броят повреди.

Повишаването на надеждността на СПД е една от най-важните задачи при проектирането им. То може да се постигне чрез резервиране на апаратурата и чрез други експлоатационни и технически мерки. Повишаването на надеждността винаги е свързано с използване на допълнителни съоръжения и линейни средства, т.е. с увеличаване сложността на системата и нейната стойност.

7.4. Видове канали за предаване на данни

Каналите за връзка, използвани при построяване на мрежите за предаване на данни, се делят на два типа: некомутируеми и комутируеми.

Некомутируеми – които постоянно или за по-продължително време свързват директно два пункта (абоната). Те са трайно и непосредствено свързани към изходите и входовете на каналообразуващата апаратура.

Комутируеми – които преминават през ръчни или автоматични станции. Обикновено се образуват чрез комутация на отделни канали и различни комутационни елементи. Операторът от крайния пункт посредством своя апарат избира изчислителния център и осъществява връзка през комутационните съоръжения на селищната АТЦ. По така изградения (комутиран) канал става предаване на данни. Ако абонатът и изчислителният център се намират в раз-

лични селища, като се използва мрежата за общо ползване, се изгражда връзка и се предава информация през съоръженията, селищните и междуселищните централи, уплътнителните системи, междуселищната кабелна или радиорелейна линия. Осъществяването на комутируеми канали има за цел свързването на два пункта за определено време (докато трае предаването), след което връзката през тях се прекъсва. Следващото образуване на комутируем канал между същите два пункта предполага ангажирането на други канали и комутационни съоръжения, откъдето идва и относителното непостоянство на електрическите характеристики на тези канали в сравнение с характеристиките на некомутируемите канали.

7.5. Видове смущаващи фактори в съобщителните канали

В реалния канал съобщението се възпроизвежда с някаква грешка. Причина за грешка са изкривявания, внасяни от самия канал, и смущения, въздействащи на сигнала (които определихме като физически шум).

Смущението е случайно въздействие върху сигнала, което влошава верността на възпроизвеждане на предаваните съобщения. Смущенията са различни както по произход, така и по физически свойства.

Основните видове смущения са:

Хармонични смущения – представляват синусоидални сигнали с честота, попадаща в лентата на пропускане на канала. Причината за тях са влияние между каналите, проникване в канала на сигнали с носеща и контролна честота, радиосигнали (при въздушни линии) и др.

Флуктуационни смущения – имат непрекъснат спектър, заемащ цялата честотна лента на канала и случайно изменяща се по време амплитуда. Причина за появата им са т.нар. топлинни шумове на елементите – транзистори, лампи, резистори и др. Тъй като амплитудата на флуктуационните смущения е случайна величина, интензивността на смущенията може да се опише само приблизително. Изкривявания се получават само ако отношението на амплитудата на смущението към амплитудата на полезния сигнал е равна на 1. В реалните канали то е 0.1 – 0.01.

Хармоничните и флуктуационните смущения влияят малко върху качеството на предаване на данни. Това влияние е незначително, ако каналът удовлетворява предписаните норми.

Импулсните смущения се изразяват в поява за кратко време по канала на мощен смущаващ сигнал ($U_{имп.см.} >> U_{сиг}$). Времето на действие на импулсното смущение е съизмеримо с продължителността на един елемент от сигнала или по-голямо от него ($t_{имп.см.} \geq t_0$).

Вероятността за поява на грешки в резултат на импулсни смущения е голяма. Счита се, че 20 % от грешките при предаване на данни по каналите с тонална честота се дължат на този вид смущения. Количествените характеристики на импулсните смущения са $U_{имп.см.}$, $t_{имп.см.}$ и средната дължина на интервала между съседните смущения $T_{имп.см.}$.

Разделянето на смущенията на отделни видове – хармонични, флуктуационни и импулсни, е условно. В реалните канали те се сумират в общо смущаващо действие.

Колебания на нивото на приемане в изхода на канала (т.е. на входа на АПД) възникват обикновено поради нестабилност на остатъчното затихване на канала. Скокообразният характер на колебанията на нивото не дава възможност те да бъдат компенсирани от устройство за автоматично регулиране на нивото, поради което стават причина за грешки, подобни на грешките, причинени от импулсни смущения.

Кратковременните прекъсвания на връзката са частен случай на изменение на нивото на приемане. Подобно на импулсните смущения те причиняват най-голям брой грешки в каналите за тонална честота – 80 – 90 % от общия брой.

Изкривяванията на приеманите сигнали зависят от различните характеристики на канала, ето защо за намаляването и отстраняването им е необходимо поддържане в определени граници на основните характеристики на съответния съобщителен канал.

8. Радиосигнал. Същност, честотен обхват. Обща схема за радиовръзка

Терминът радиовръзка означава връзка, осъществена чрез излъчване на електромагнитни вълни, т.е. без проводници. За установяване на радиовръзката са необходими предавател и приемник. Независимо от характера на радиовръзката (дали се предава сигнал, звук, образ и др.) съществуват основни процеси, които са задължителни за всеки радиотехнически тракт: производство на високочестотни

(в.ч.) трептения, усилване, модулиране, преобразуване на честота, демодулиране.

Звуковите трептения, които се създават при говор и музика, имат честоти в границите от 16 Hz до 20 kHz. Предаването на електромагнитни трептения със звукова честота на далечно разстояние е невъзможно, тъй като в приемника не могат да се отделят сигналите от различни едновременно работещи радиопредаватели. Освен това ефективно излъчване на електромагнитни вълни се получава, когато геометричните размери на антената са съизмерими с дължината на вълната, а това при звуковите честоти би довело до огромни размери на антенните устройства.

Всички тези недостатъци на непосредственото излъчване са довели до използване на високочестотни (в.ч.) трептения за пренасяне на нискочестотни (н.ч.) сигнали, което позволява да се получи ефективно излъчване от антени с приемливи размери. Високочестотните трептения, които се използват в радиотехниката, се разполагат в границите от 15 kHz до 300 GHz, което съответства на дължина на вълната от 20 km до 1 mm.

Обобщена схема на радиопредавателно и радиоприемно устройство, осъществяващи радиовръзката, е дадена на фиг. 3.14.



Фиг. 3.14. Схема на радиовръзка

Честотите на радиосигналите при амплитудна (АМ) и честотна (ЧМ) модулация са показани в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Модулация	Носеща честота	Междинна честота	Ширина на честотната лента
АМ	550 – 1600 kHz	455 kHz	10 kHz
ЧМ	88 – 108 MHz	10,7 MHz	200 kHz

Основните процеси, които се извършват в предавателя, са: създаване на в.ч. трептения, модулиране и излъчване на електромагнитни вълни.

Високочестотните трептения се създават от в.ч. генератор. (Той се състои от трептяща система, електронна лампа и източник на енергия. По отношение на захранващия източник в.ч. генератор може да се разглежда като преобразувател на енергията на постояннотоковия източник в енергия на в.ч. токове.) Основни характеристики на в.ч. генератор са: дължина на вълната (λ), мощност (P), коефициент на полезно действие (к.п.д.), стабилност на честотата, диапазонност.

Тъй като в.ч. трептения се използват за носител на н.ч. трептения, необходимо е да се изменя някой от параметрите на в.ч. трептение в съответствие със закона на н.ч. трептение, т.е. да се извърши модулация на в.ч. трептение. Модулацията се извършва в модулационното стъпало, към което се подава в.ч. сигнал от автогенератора и н.ч. сигнал от студиото или модулатора. В зависимост от това, кой от параметрите (амплитуда, честота или фаза) на в.ч. трептение се изменя по н.ч. закон, различаваме три вида модулация – амплитудна, честотна и фазова.

Модулираните трептения могат да се подложат на усилване или направо да се подадат на антената, където енергията на в.ч. токове се превръща в енергия на електромагнитните вълни, които се излъчват в пространството. Електромагнитните вълни се разпространяват със скорост, равна на скоростта на светлината (300 000 km/s). На пътя на тяхното разпространение се намира антената на приемника. Те индуцират в нея променливо електродвижещо напрежение (е.д.н.) с висока честота, което предизвиква протичане на в.ч. ток. По такъв начин приемникът приема част от енергията, излъчена от предавателя.

В приемника се извършват следните основни процеси: отделяне на желания сигнал със селективен усилвател, преобразуване на честотата в междинна честота (м.ч.), усилване на м.ч. и демодулация. Способността да се отдели дадена станция от многото предаватели, които работят в момента и чиито вълни са попаднали в антената на приемника, се нарича избирателност и се осъществява от трептящите кръгове в приемника.

В зависимост от разстоянието между предавателя и приемника, условията за разпространение на електромагнитните вълни и мощ-

ността на предаване на входа на приемника се получава сигнал с мощност, която може да се усилва от 10^{-15} W нагоре. На изхода на приемника е необходим сигнал от порядъка на единици ватове. Следователно в приемника е необходимо усилване от порядъка на 10^{15} пъти по мощност. В съвременните приемници добро приемане се осигурява от приемника при входен сигнал от порядъка на единици микроволта (μV) посредством специални схеми, при които се получава голямо усилване.

След усилване сигналът се подлага на демодулация в детектора. Това е процес, обратен на модулацията, при който в.ч. трептение се превръща в н.ч. трептение.

Детекторът служи за целесъобразна обработка на приетия модулиран сигнал, така че да се получи максимално точно възстановяване на модулиращия сигнал.

Съществуват 3 вида демодулация, съответстваща на модулацията – амплитудна, честотна и фазова.

На изхода на приемника се включва регистриращо устройство, което може да е високоговорител, буквопечатащ механизъм и др.

8.1. Основни свойства на електромагнитните вълни

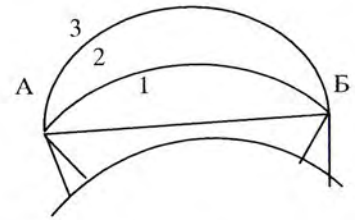
Всяка радиовръзка се осъществява от предавател, приемник и среда, в която се разпространяват електромагнитните вълни, излъчени от предавателя.

Върху разпространението на радиовълните оказват влияние следните фактори: дължината на вълната, кривината на земната повърхност, проводимостта на почвата, съставът на атмосферата, денонощието, годишните сезони, годината, магнитното поле на земята, метеорологичните условия.

Дължината на вълната е един от съществените фактори, които определят особеностите на разпространение на радиовълните. Те заемат спектър от честоти от 15.10^3 Hz до 3.10^{11} Hz и в зависимост от особеностите на разпространение се делят на обхвати (диапазони) (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Наименование на вълновия обхват	Дължини на вълната	Честоти
свръхдълги	10 – 100 km	3 – 30 kHz
дълги	10 – 1 km	30 -300 kHz
средни	1000 – 100 m	300 – 3000 kHz
къси	100 – 10 m	3 – 30 MHz (1 MHz = 1000 kHz)
УКВ	10 m – 1 mm	30 -300 000 MHz
а) метрови	10 – 1 m	30 – 300 MHz
б) дециметрови	100 – 10 cm	300 – 3000 MHz
в) сантиметрови	10 – 1 cm	3 – 30 GHz (1 GHz = 1000 MHz)
г) милиметрови	10 – 1 mm	30 – 300 GHz



където означенията са:
1 – повърхностни (земни) вълни;
2 и 3 – пространствени;
2 – тропосферни – отразени или разсеяни от неоднородната тропосфера;
3 – йоносферни – отразени от йоносферата.

Фиг. 3.15. Разпространение на радиовълните

8.2. Разпространение на дългите, средните, късите и ултракъсите вълни

Дългите вълни се разпространяват с повърхностна (на разстояние до няколко хиляди km и пространствена вълна (на по-големи разстояния). Дългите вълни се използват за радиотелеграфни връзки. Недостатък – големи размери на предавателните антени.

Средните вълни се разпространяват с повърхностни и пространствени вълни. Загубите в земята за средни вълни са по-големи и затова повърхностната вълна затихва по-бързо, отколкото при дългите. Пространствената вълна поради по-високата честота се отразява от по-голяма дълбочина, затова загубите в йоносферата за нея са по-големи. През деня пространствената вълна изчезва и средни вълни се разпространяват главно с повърхностни вълни, а нощем поглъщането на йоносферата намалява и преобладават пространствените вълни. Характерно явление за средни вълни е фадингът. Той може да се яви в зона, където попадат повърхностни и пространствени вълни, при което възниква интерференция и полето непрекъснато се мени. Това е близък фединг. Далечният фединг представлява интерференция между две пространствени вълни, отразили се от йоносферата различен брой пъти.

Късите вълни се разпространяват главно с пространствени вълни. Те имат малко поглъщане в йоносферата.

Сигурна връзка на УКВ се ограничава с разстояние в зоната на пряката видимост. УКВ се използват за предавания с честотна и импулсна модулация.

8.3. Общи сведения за модулацията

Процесът модулация има за цел да измести н.ч. спектър на полезния сигнал в областта на високите радиочестоти, което е необходимо за получаване на ефективно излъчване на електромагнитни вълни. Освен това модулацията е необходима за създаване на независимост между отделните радиовръзки и позволява да се използват всички диапазони на радиовълните.

Модулацията е процес на изменение на един от параметрите на в.ч. ток (а в т.ч. и на излъчваните електромагнитни вълни) в съответствие с характера и формата на пренасяния полезен н.ч. сигнал.

Високочестотният ток се представя с израза:

$$i_w = I_{m0} \cdot sin\,(\omega t + \varphi_0),$$

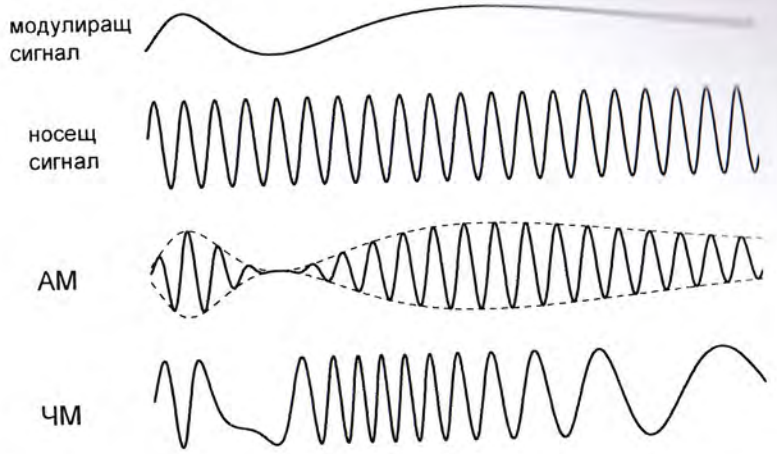
където:

I_{m0} е амплитудата на немодулирания в.ч. ток;

ω – ъгловата му честота;

φ_0 – началният фазов ъгъл.

В зависимост от това, кой от тези параметри е подложен на изменение, се различават три основни вида модулация – амплитудна (АМ), честотна (ЧМ) и фазова (ФМ) (фиг. 3.16).



Фиг. 3.16. Видове модулация при радиопредаването

При фазово модулирани сигнали честотата се изменя, следвайки производната на сигнала. Това означава, че тя ще е пропорционална на скоростта на изменение на сигнала.

При амплитудната модулация максималната стойност на амплитудата е ограничена от удвоената амплитуда на немодулирания сигнал, а минималната – от основния шум.

Най-голямото отношение между фортисимо и пианисимо на един оркестър при непосредствено слушане може да достигне до 10 000, което не може да се запази при използване на АМ. Даже и при ЧМ не е възможно да се възпроизведе от приемника едно толкова голямо съотношение, но все пак се постигат достатъчни стойности.

Честотно модулираният сигнал има постоянна амплитуда и честотата му се променя в съответствие с честотата на модулиращите сигнали. Ако тяхната честота е например 1000 Hz, честотата на излъчваната вълна ще се променя 1000 пъти в секунда. А самата големина на тази промяна на честотата зависи от амплитудата на модулиращите сигнали. Точно широката гама от предавани

честоти, както и неограниченото отношение на техните амплитуди определят безспорните предимства на ЧМ пред АМ. Освен това постоянството на амплитудата на сигналите осигурява отличен k.n.g. на предавателите.

В заключение може да се каже, че всяка от описаните по-горе системи за модулация има свои предимства и недостатъци. АМ използва детектори от най-прост тип и се нуждае от най-тясна честотна лента (особено ако се предава само едната странична честотна лента), обаче тя има най-малка шумозащитеност.

Широколентовата честотна модулация използва по-прости предавателни устройства и осигурява по-добро потискане на шума и на смущаващите сигнали, отколкото АМ. Обаче тя се нуждае от лента на пропускане, приблизително 5 пъти по-широка, отколкото на амплитудно-модулирания сигнал.

Изборът на конкретен метод на модулация зависи от изискванията, които се поставят към системата за радиовръзка.

Бъдещето принадлежи на дигиталното радио, предхождано от дигитално студио, което вече е реалност.

9. Телевизионни сигнали. Същност, честотен обхват. Особености на зрителното възприятие. Обща схема за телевизия

Практическото внедряване на телевизионните методи е едно от най-големите постижения на човешката мисъл през последните десетилетия. Усъвършенстването на техническите средства се развива изключително бързо, вследствие на което за сравнително кратко време телевизията намери разнообразно приложение. При това отделните области непрекъснато се разширяват, което доведе до оформянето ѝ като самостоятелна приложна наука.

Първото направление за широко използване е телевизионното разпръскване, т.е. предаването на програми за населението.

Второто направление е приложението на телевизията в различни области на науката и техниката. Решени са редица практически въпроси за по-ефективно и по-безопасно контролиране и управление на различни производствени процеси. Улеснени са и някои специфични научни изследвания. Известен е например приносът на телевизията

при космическите изследвания. Използват се телевизионни системи и за учебни цели.

Предметът на телевизията се определя от самото понятие телевизия, което означава наблюдение от разстояние или далечно виждане. Това ще рече, че се осъществяват такива процеси, в чието развитие се постигат предаване и възпроизвеждане на зрителна информация.

Приемен орган в телевизията е човешкото око. Зрителното възприятие при телевизията е следствие на сложен физиологичен процес, предизвикан от зрителното дразнение на светлинния поток, излъчван от приемния телевизионен екран.

Светлинният поток е електромагнитно излъчване с дължина на вълната от 0.38 до 0.77 μm (за практически цели от 0.4 до 0.7 μm). Именно електромагнитното излъчване в тази област предизвиква дразнение на окото и се възприема като светлина. Видимите лъчи заемат много малка част от обхвата на пълния електромагнитен спектър.

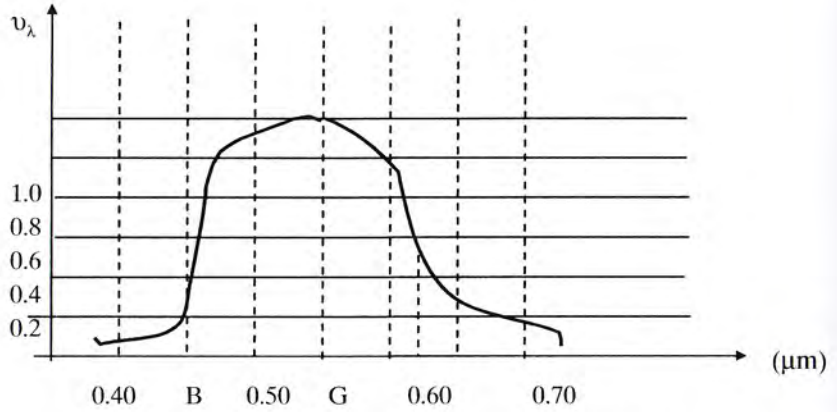
9.1. Възприемане на цветовете

Както всяко електромагнитно излъчване, така и светлинните лъчи при своето разпространение пренасят известно количество енергия. В зависимост от дължината на вълната едно и също количество светлинна енергия предизвиква различно дразнене на окото. Вследствие на това се създава различно усещане за видимост, т.е. възприятието при различни дължини на вълните на светлинните трептения, т.е. при различни цветове, е различно.

Спектралната чувствителност на окото, или както се нарича още характеристика на видимостта, е дадена на фиг. 3.17.

Вижда се, че най-голяма видимост предизвикват лъчите с дължина на вълната приблизително 0.555 μm. Те съответстват на жълтозелената област на спектъра на електромагнитното излъчване.

Спектралната чувствителност на окото не е еднаква за всички хора. Тя зависи също и от условията на наблюдение. Стандартната крива на относителната спектрална видимост е приета от Международна комисия по светлотехника въз основа на множество изследвания с голям брой хора. Тя е валидна за равноенергетичен спектър, т.е. количеството светлина при различни дължини на вълната трябва да е едно и също.



Фиг. 3.17. Спектрална чувствителност на окото

За телевизията имат значение и други основни физиологични свойства на човешкото око. Например:

- да различава светлите и тъмните елементи на даден обект, т.е. да преценява осветеността на отделните елементи на предавания обект. Това свойство на окото позволява да се разпознава обектът при черно-бяла телевизия;
- да се определя дали телата са в покой или в движение;
- да различава цветовете. Това се дължи на обстоятелството, че окото различава светлинни лъчи с различна дължина на вълната;
- да изменя големината на зеницата (адаптация). С това се регулира големината на светлинния поток, попаднал в окото;
- да изменя фокусното разстояние на лещата (акомодация). Благодарение на това при различно разстояние между телевизионния екран и окото може да се наблюдава четливо ясно изображение;
- да може при определен минимален ъгъл да различава ясно два съседни детайла на обекта. С този минимален ъгъл се характеризира разделителната способност на окото. Разделителната способност на окото зависи от яркостта на обекта – по-висока е при по-голяма яркост. При средна яркост на телевизионния екран е приет ъгъл приблизително 1 min. Тъй като най-високата разделителна способност в хоризонтална посока се ограничава в ъгъл 16 – 20° и във вертикална посока – с ъгъл 12 – 15°, отношението на съответните страни на приемния екран се избира 4:3;
- да запазва за известно време впечатлението от различни елементи, яркости, осветености и цветове и след като причинителят на зрителното дразнене престане да действа (инертност на зрителното възприятие). Това свойство на окото има много важно значение за възпроизвеждане на изображението;
- да различава кои тела са разположени по-близо и кои по-далеч. С това се добива впечатление за дълбочина (пространственост) на предавания обект;
- да различава големината на различни елементи на предавания обект;
- да различава относителното разположение на телата.

Въз основа преди всичко на адаптацията, акомодацията, разделителната способност и инертността на окото за целите на телевизията е приет стандарт на предаване 50 – 60 полукадъра/s, като 50 се отнася за Европа, а 60 – за Америка.

Под понятието предаване на изображение се разбира изображение на обекта, който е предназначен за предаване по телевизията. При предаване на някакво действие, което се развива върху сцената, сцената и действащите лица представляват предавания обект, чието изображение се предава. Ако се предава някакво действие на открито, предаваното изображение е образувано от изображението на съответното пространство и действащите лица.

Предаваното изображение може да се разглежда като осветена повърхност, тъй като по телевизията се предават осветени обекти, ограничени с повърхност със специфична форма. Така например лицето на всеки човек представлява повърхност със специфична форма. От друга страна, предаваният обект може да се разглежда като съвкупност от различни осветени елементи, които се различават както по осветеност, така и по цветност. Тази представа се дължи на съответно зрително възприятие.

Зрителното възприятие се предизвиква в човешкото съзнание от светлинните лъчи, които попадат в окото от първичен или вторичен светлинен източник. Благодарение на зрителното възприятие човек може да вижда различни светещи или осветени тела и елементи.

Зрителното възприятие, причинено от даден първичен или вторичен светлинен източник в човешкото съзнание, се обуславя от 4 характерни признака:

а) повърхността на телата е съставена от светли и тъмни области. Този признак е най-съществения, защото благодарение на него се създава впечатление за изпъкнали и вдлъбнати места. Той е достатъчен за целите на черно-бялата телевизия, когато се предават неподвижни изображения;

б) разглежданите тела са в покой или в движение по отношение на околната среда.

Наличността на светли и тъмни области и на движение на предаваните обекти е напълно достатъчна за целите на черно-бялата телевизия;

в) повърхността на телата е съставена от области с различни цветове, в случай че съществува оцветеност.

Този признак позволява да се добие по-пълна представа за редица подробности на предаваното изображение. Оцветеността допринася да се добие и известна представа за обемност на предаваното изображение;

г) телата имат определен обем. При предаване и приемане на този признак възпроизведеното изображение се приближава до предаваното изображение.

Очевидно е, че при наличност и на 4-те основни признака изображението е най-близко до оригинала.

Възприятието на цветовете чрез наблюдение е твърде сложен физиологичен процес. С оглед да се получи точна представа по какъв именно начин окото различава цветовете и до днес се правят сериозни изследвания.

Засега обяснението на възприятието на различните цветове се базира на т.нар. трикомпонентна теория. Възприема се, че това се осъществява с помощта на 3 вида цветочувствителни възли, намиращи се в ретината на окото. При възбуждането на всеки от тях се получава възприятие и за съответен (строго определен) цвят – червен, зелен и син. Подходяща смес от тези три основни цвята позволява да се получи цялата гама от видими цветове. Например представено в аритметична форма:

червено + зелено = жълто;

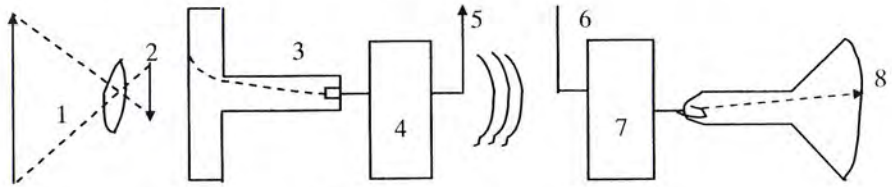
червено + синьо = пурпурно;

зелено + синьо = цианово;

червено + синьо + зелено = бяло.

Чрез подбиране на интензитета на всеки от основните цветове могат да се получат всички нюанси на желаните багри.

Процесът на телевизионното предаване и приемане е свързан с трансформиране на светлинна енергия в електрическа и на електрическа в светлинна. На фигурата е представена основна схема за предаване и приемане на изображения.



Фиг. 3.18. Схема на предаване и приемане на телевизионен сигнал

Означенията на горната фигура са:

1 – предаваният обект;

2 – обектив (оптична система);

3 – предавателна телевизионна тръба (биват ортикон, суперортикон, видикон, плумбикон, силикон, суперсиликон, моноскоп, твърдотелни предавателни "тръби" и др.);

4 – предавателна система;

5 – предавателна антена;

6 – приемна антена;

7 – приемна система;

8 – приемна телевизионна тръба (биват тръби за черно-бяло изображение, тръби с точков екран, тръби с щрихов екран, "тръби" с плосък екран, прожекционни тръби и др.).

В зависимост от осветеността на отделните елементи на предавания обект се отразяват и съответните елементарни светлинни потоци. Тоталният светлинен поток чрез оптичната система се фокусира върху светлочувствителния слой на предавателната телевизионна тръба. В тази тръба именно се извършва преобразуване на светлинната енергия в електрическа. На изхода на тръбата се получават електрически импулси с различна амплитуда. Тези импулси формират т.нар. видеосигнал. В предавателната тръба видеосигналът се усилва в съответствие с изискванията за постигане на

стандартна дълбочина на модулацията. Тук се създава, модулира и усилва и в.ч. сигнал. Накрая този сигнал се подава за излъчване.

Приетият сигнал се подава на входа на приемната система. След усилване и детектиране (от видеодетектор) отново се получава видеосигналът. След детектирането се извършва допълнително усилване в т.нар. видеоусилвател. Накрая видеосигналът се подава на входа на приемната телевизионна тръба. В тази тръба се извършва преобразуване на електрическата енергия в светлинна. Отделният електрически импулс се трансформира на приемния екран в съответна светеща точка.

Телевизионната система трябва да осигури и съответно подреждане на елементите (респективно на детайлите) върху приемния екран.

Качеството на телевизионното изображение зависи и от броя на елементите, на които се разлага предаваното изображение. При по-голям брой елементи се получава и по-качествено изображение – възпроизвеждат се по-дребни детайли. Това допринася възпроизвежданото изображение да се доближи до оригинала. Трябва да се има предвид обаче, че увеличението на броя на елементите на предаваното изображение има смисъл само до определена граница.

Предавателната и приемната телевизионна тръба притежават (аналогично на обикновената радиолампа) управляващ електрод. Неговото предназначение е да регулира плътността (тока) на електронния лъч.

Възпроизвеждането на отделните детайли се извършва, като електронният лъч обхожда последователно приемния екран по редове.

9.2. Параметри на телевизионния сигнал

Честота на кадрите: 25 кадъра/s (за Европа)
30 кадъра/s (за Америка)

Разделителна способност: 625 реда (за Европа)
525 реда (за Америка)

Честотна лента на видеосигнала: 6 MHz

Честотна лента на телевизионния канал: 8 MHz

Презредова развивка: през първата 1/50 от s – нечетни редове
през втората 1/50 от s – четни редове

Таблица 3.4

Носещи честоти на TV сигнала	Канали
47 – 68 MHz	2,3,4
88 – 108 MHz	FM радиостанции
174 – 230 MHz	5 – 12
Кабелни канали	13 – 20
470 – 606 MHz	21 – 37
606 – 862 MHz	38 – 69

Стандарти за цветна телевизия са NTSC, PAL, SECAM.

Определянето на честотната лента на видеосигнала става на базата на следните пресмятания:

$$625 \text{ реда} \times 25 \text{ кадъра/s} = 15\,625 \text{ реда/s}.$$

Телевизионните изображения имат ширина с една трета по-голяма от тяхната височина. Следователно, ако приемем, че всеки елемент на образа е малко квадратче със страна, равна на разстоянието между два съседни реда, ще получим, че броят на квадратчетата в един ред е с една трета по-голям от броя на редовете в изображението. Оттук следва, че при образ от 625 реда всеки от тях ще съдържа по 833 елемента. В такъв случай за 1 s ще се предават

$$15\,625 \times 833 = 13\,015\,625 \text{ точки/s} = 13.10^6 \text{ точки/s}.$$

Приема се, че всеки елемент може да бъде предаден чрез един полуперио̀д на видеосигнала (а не с цял период). Това означава, че с 6.5 милиона периода в секунда ще могат да се предават образи от 625 реда. Всъщност е достатъчна честотна лента с ширина 6 MHz. Поради това всеки елемент на образа не е вече съвсем квадратен: ширината му е малко по-голяма от височината. С други думи, разделителната способност в хоризонтална посока е малко по-лоша, отколкото във вертикална.

9.3. Предаване и приемане на цветни изображения

Да разгледаме отново кривата за спектрална чувствителност на окото. Ако насложим червени, зелени и сини лъчи, като дозираме тяхната интензивност в зависимост от чувствителността на

окото към всеки от тези цветове, ще получим бяла светлина.

Цветната телевизия използва трите основни цвята и освен това предава и сигнал, съответстващ на сумата от тях, наречен *яркост*. Това се прави, за да се осигури съвместимост между цветната и черно-бялата телевизия. Последната използва само сигнал за яркост. Това позволява цветните предавания да могат да се приемат не само с цветните телевизори, но и с черно-белите, където, разбира се, образът няма да бъде цветен. И обратно, с цветните телевизори трябва да могат да се приемат не само цветните програми, но и черно-белите.

Да означим с Y яркостта, а с R, G и B – трите първични основни цвята със следните дължини на вълните:

R (червено – *red*) – 700 nm;

G (зелено – *green*) – 546.1 nm;

B (синьо – *blue*) – 435.8 nm.

От кривата за спектрална чувствителност на окото се вижда, че ако приемем за 1 чувствителността на окото към зеления цвят, чувствителността към червения е равна на 0.5, а към синия – 0.2. Ако ги сумираме, се получава

$$V_R + V_G + V_B = 0.5 + 1 + 0.2 = 1.7.$$

Частта на всяка от тези чувствителности спрямо сумата им е съответно:

- за зеленото – $1 : 1.7 = 0.59$;
- за червеното – $0.5 : 1.7 = 0.30$;
- за синьото – $0.2 : 1.7 = 0.11$.

За да получим яркост Y, съответстваща на цветовата чувствителност на окото, трябва да съберем трите основни цвята, като дозираме всеки според съотношението, определено от горните изчисления. Оттук формулата за яркост придобива вида:

$$Y = 0.30\,R + 0.59\,G + 0.11\,B.$$

Ако трите цвята се предават в такава пропорция, при приемането се получават точно същият цветен тон и същата яркост, както възприетите при непосредственото наблюдение на предаваното изображение.

Ако интензитетът на всеки от основните цветове е един и същ, сумирането в съответните на формулата пропорции ще даде бяла светлина. Но ако стойностите на R, G, B не са равни, ще се получат

различни цветове, които се променят в зависимост от дозирането на трите основни цвята.

За да се осигури съвместимостта, при всички системи за цветна телевизия се предава яркостта Y и само два сигнала за основните цветове – за червеното и за синьото. По-точно предават се т.нар. разликови сигнали: $R - Y$ и $B - Y$.

Поради факта, че се предава яркостта Y, изображенията се приемат лесно от черно-белите телевизори. Приемането на трите цвята се извършва на база на предаването на трите сигнала Y, $R - Y$, $B - Y$ по следния начин:

- за да получим сигналите за червено и синьо, е достатъчно да насложим върху всеки от разликовите сигнали яркостния сигнал, т.е.

$$(R - Y) + Y = R;$$
$$(B - Y) + Y = B;$$

- щом като вече имаме освен Y и стойностите на R и B, по формулата

$$Y = 0.30\,R + 0.59\,G + 0.11\,B$$

определяме

$$0.59\,G = Y - 0.30\,R - 0.11\,B,$$

откъдето пресмятаме

$$G = 1.7\,Y - 0.51\,R - 0.19\,B.$$

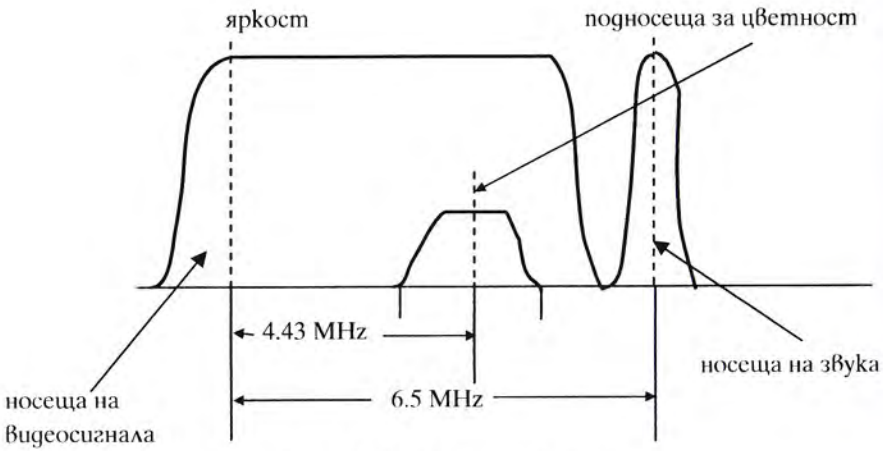
От горното се вижда, че като се предават яркостта Y, разликовите сигнали $(R - Y)$ и $(B - Y)$, може да се възстанови третият основен цвят G. Тези сложни функции се изпълняват от декодиращите устройства, които са съставна част на цветните телевизори.

Предаването на трите сигнала Y, $R - Y$, $B - Y$ се извършва посредством сигнал със следната форма (фиг. 3.19).

Използването на три носещи честоти, модулирани с всеки от горните сигнали, ще доведе освен до широка честотна лента и до утрояване на входните стъпала и в.ч. усилватели.

Цветните телевизионни предаватели използват една носеща честота за изображението и една носеща честота за звука. Носещата честота за изображението се модулира от сигнала за яркост, за да се осигури съвместимост с черно-белите изображения.

Разликовите сигнали се предават с една поднасяща честота.



Фиг. 3.19. Телевизионен сигнал

Носещата честота е десетки, дори стотици MHz. Тя се модулира по амплитуда с един сигнал от 4.43 MHz. Това създава две честоти, разположени на 4.43 MHz от двете страни на носещата. Стойността 4.43 MHz е възприета във всички европейски цветни предавания. Чрез подходящо модулиране на тази подносеща честота се предават двата цветови сигнала. Възприетите стандарти за цветна телевизия се различават по начина на модулиране и са следните: NTSC, SECAM, PAL.

При NTSC и PAL подносещата е модулирана амплитудно от разликовите сигнали, а при SECAM – честотно. Независимо от начина на модулация честотата на модулирания сигнал е ограничена до 1.5 MHz. Това е напълно достатъчно за предаване на цветовете, тъй като човешкото око различава много по-зле малките подробности в цвета, отколкото в яркостта на изображението.

Начинът на модулиране на подносещата с разликовите сигнали представлява основната разлика между трите метода на цветна телевизия.

Методът *NTSC* (*National Television System Commity*) е създаден от група инженери на американската фирма Хезелтайн под ръководството на Чарлз Хирш. При този метод двата модулиращи сигнала са дефазирани взаимно на четвърт период. За целта единият от двата сигнала закъснява спрямо другия.

Методът *SECAM* (*SEquence de Couleurs Avec Memoire*) е изобретен през 1956 г. от Анри дьо Франс и означава последователност от цветове с памет. При този метод се предават последователно двата цветови сигнала. През времетраенето на даден ред подносещата се модулира честотно например от $(R - Y)$, а по време на следващия ред тя се модулира от $(B - Y)$. При приемането се постига възстановяване на двата цвята за всеки ред.

Методът *PAL* (*Phase Alternation Line*) е създаден от германския инженер д-р Валтер Брух, който го разработва през 1963 г. в лабораториите на Телефункен. Системата PAL представлява донякъде синтез на NTSC и SECAM.

Може да се съжалява, че в света не е възприета една-единствена система.

Понастоящем си пробива път дигиталната телевизия. Излъчването на дигитални предавания у нас започна в края на 2004 г.

Задачи към трета глава

- Източник на съобщение подава символи от ансамбъл с обем, равен на 8. Да се напишат кодовите комбинации на примитивния равномерен двоичен код, съответстващи на символите на дадения ансамбъл.
- Източник на съобщение подава символи от ансамбъл с обем, равен на 10. Какъв минимален брой разреди трябва да имат кодовите комбинации на равномерен двоичен код, предназначен за кодиране на символите на дадения ансамбъл. Да се напишат кодовите комбинации. Да се изчисли излишъкът на кода.
- Дискретен източник (например клавиатура на компютър) подава символи от ансамбъл $\{a_i\}$ с обем, равен на 256. Какъв минимален брой разреди трябва да имат кодовите комбинации на примитивния равномерен двоичен код?
- Да се кодират с двоичния код на Шенън-Фано символите от ансамбъла $\{a_i\}$ $i = (1, 2, \ldots, 8)$, ако вероятностите на символите имат стойности, съответно $p_1 = 0{,}25$; $p_2 = 0{,}25$; $p_3 = 0{,}125$; $p_4 = 0{,}125$; $p_5 = 0{,}0625$; $p_6 = 0{,}0625$; $p_7 = 0{,}0625$; $p_8 = 0{,}0625$. Да се намери средният брой знаци в кодовата комбинация. Да се покаже, че този код е близък до оптималния по Шенън.

- Да се кодират с двоичния код на Хафмън символите от ансамбъла $\{a_i\}$ $i = (1, 2, \ldots, 8)$, ако вероятностите на символите имат стойности, съответно $p_1 = 0{,}25$; $p_2 = 0{,}25$; $p_3 = 0{,}125$; $p_4 = 0{,}125$; $p_5 = 0{,}0625$; $p_6 = 0{,}0625$; $p_7 = 0{,}0625$; $p_8 = 0{,}0625$. Да се намери средният брой знаци в кодовата комбинация. Да се покаже, че този код е близък до оптималния по Шенън.
- Да се определи пропускателната способност на системата ИКМ 30/32, предназначена за 30 телефонни канала и по един канал съответно за синхронизация и за сигнализация. Горната гранична честота на телефонния сигнал е 3,4 kHz, стойностите се предават с 8 разреда.
- Каква е пропускателната способност на непрекъснатия канал, ако пропусканата честотна лента е 4 kHz, мощността на сигнала е 1 W и мощността на шума е 1 mW?
- Да се определи пропускателната способност на дискретен двоичен канал, в който символите са равновероятни, вероятността за грешка $p_0 = 0{,}03$, а скоростта за предаване на електрически кодови сигнали е 80 символа/s.
- Да се намери ентропията на шума в двоичен симетричен канал без памет, ако ентропията на източника на входа на канала е 1 000 bit/символ, ентропията на изхода на канала, създадена от източника е 2000 bit/символ, ненадеждността на канала е 200 bit/символ.
- Ентропията на входа на дискретен канал е 20 bit/символ, а по канала средно се предават 10 bit/символ полезна информация. Ентропията на шума в канала е 40 bit/символ. Да се намерят ненадеждността на канала и ентропията на изходните символи. Да се определят: производителността на източника на входа на канала; ненадеждността на канала за единица време (т.е. скоростта на "утечка" на информация); средната скорост на предаване на информация по канала; скоростта на създаване на странична информация в канала, ако на входа на канала постъпват средно 50 символа/s.

Литература

1. Перегудов, Ф. И., Ф. П. Тарасенко, Введение в системный анализ, Высшая школа, М., 1989.
2. Фердинандов, Е., Сигнали и системи, I и II част, София, 1999.
3. Ненов, Г. Д., Сигнали и системи, ТУ, София, 1995.
4. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи, Связь, М., 1983.
5. Садовский, В. Н., Основания общей теории систем, М., 1974.
6. Черняк, Ю. И., Системный анализ в управлении экономикой, М., 1975.
7. Ясин, Е. Г., Теории информации и экономические исследования, Статистика, М., 1970.
8. Бовбель, Е. И., И. К. Данейко, В. В. Изох, Элементы теории информации, БГУ, Минск, 1974.
9. Темников, Ф. Е. и др., Теоретические основы информационной техники, "Энергия", М., 1971.
10. Стоянов, Г., Теоретични основи на съобщителната техника, Техника, С., 1993.
11. Зюко, А. Г. и др., Теория передачи сигналов – учебник для высших учебных заведений, Радио и связь, М., 1986.
12. Основы передачи дискретных сообщений – учебник для высших учебных заведений, Радио и связь, М., 1992.
13. Младенова, Б., Предаване на данни, Техника, С., 1992.
14. Пенков, П., С. Тонева, Обща радиотехника, Техника, С., 1975.
15. Начев, Н., Телевизия, ДП "Веселин Андреев", С., 1984.
16. Райчев, Т., Ст. Димитров, Телеграфна техника, Техника, С., 1976.
17. Краус, Х., Ч. Бостиан, Ф. Рааб, Полупроводникова радиотехника, Техника, С., 1985.
18. Айсберг, Е., Радиото и телевизията ли? Това е много просто!, Техника, С., 1974.

Книгата е освободена от ДДС

ТЕОРИЯ НА ИНФОРМАЦИЯТА И ПРЕНАСЯНЕ НА СЪОБЩЕНИЯ

доц. д-р Христо Димитров Далкалъчев

доц. инж. Елка Илиева Неделчева

Рецензенти: доц. д-р Евангелий Андронов
доц. д-р Кръстю Мирски

Отг. редактор Геника Киркова
Художник Истилиян Божилов

Дадена за печат на 27.04.2006 г.
Формат 16/60/84. ПК 11,5. Тираж 100

ISBN - 10: 954-494-716-7
ISBN - 13: 978-954-494-716-3