3 КЕРУВАННЯ

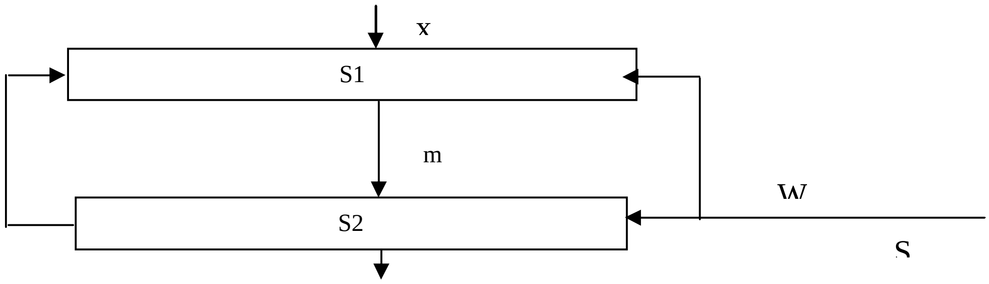
3.1 СИСТЕМА КЕРУВАННЯ

Наявність керування є істотною ознакою складної системи, що забезпечують її цілісність.

Визначення 3.1. Керування - це цілеспрямований вплив однієї системи на іншу для зміни її поведінки (стану) відповідно до мінливих умов зовнішнього середовища.

Поняття керування є базовим у кібернетику, оскільки визначає предмет дослідження цієї науки. Будь-яку систему, яка є об'єктом кібернетичного дослідження, можна представити у вигляді системи керування.

Системою керування називається організована динамічна система зі зворотним зв'язком, у якому реалізуються причинно-наслідкові зв'язки за допомогою, принаймні, двох каналів (мал. 3.1).



Малюнок 3.1 Схема організації системи керування

Нехай x характеризує вхід, що визначає ціль функціонування системи керування S. Керуюча система S_1 виробляє керуючі впливи т, передані на вхід керованої сис-яемы S_2. На систему S впливають впливи, що обурюють, w. Результати роботи системи в по каналу зворотного зв'язку надходять на вхід S_1, аналізуються й використовуються для вироблення наступних керуючих впливів. Сказане дозволяє виконати формалізацію, яка визначає правила функціонування системи керування S.

Початок процесу керування: S_1 виробляє керуючий вплив x=F(y), виходячи з мети керування й апріорної інформації про закони функціонування системи в зовнішньому середовищі А, якщо така є:

$S_1 : x \times A \to m$. (1)

Реакція об'єкта керування під дією збурювань:

$S_2 : m \times w \to y$ (2)

На наступному кроці підсистема S_1 при прийнятті розв'язків використовує дані про в (фактичному) і прогнозні значення ω.

$S_1 : x \times y \times w \to m$ (3)

3.2 УМОВИ ІСНУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.

Головними умовами існування системи керування є наступні:

1) Організованість: у системі керування виділяються елементи, які ставляться або до керуючої, або до керованої підсистеми:

$S = S_1 \bigcup S_2$.

2) Різноманітність: кожна із двох виділених підсистем повинна допускати можливість появи декількох (багатьох) станів:

Примітка. Проблема оцінки різноманітності керуючої системи і її співвідношення з різноманітністю керованого об'єкта має важливе теоретичне й практичне значення.

Закон необхідної різноманітності: "кількість исходов керованої системи, якщо воно мінімально, може бути ще зменшене тільки за рахунок відповідного збільшення різноманітності керуючої системи". Це значить, що для розв'язку завдання керування необхідно, щоб інформаційна потужність керуючої системи (або її власна інформаційна різноманітність) була не менше різноманітності об'єкта керування (тобто розв'язуваного завдання керування).

Нехай у дискретні моменти часу $t = \frac{T}{\Delta t}$ відбувається зміна вектора x(t) входів об'єкта керування, а керуюча система виробляє вектор m(t) керуючих впливів, у результаті яких стан об'єкта керування визначається як u(t) = γ(x(t),m(t),•). Переклад керованого об'єкта зі стану u(t) у деякий стан u(t+1) вимагає розв'язку завдання прогнозування x(t+1), оцінки параметрів системи, розв'язку завдання ідентифікації u(t), вибору підходящого m(t+1):

$$u(t+1) \quad \varphi\left(\cancel{x}(t+1), m(t+1), u(t), \bullet\right).$$

Якщо різноманітність завдання керування, вимірюваної кількістю інформації, визначити як V, а інформаційну потужність керуючої системи W, то для здійснення переходу u(t)→u(t+l) необхідно, щоб у кожний момент часу t виконувалася умова W(t)≥V(t).

У реальних системах керування "повне" різноманітність об'єкта керування й впливів зовнішнього середовища настільки велике, що остання умова, загалом кажучи, не виконується. Тому керуюча система формує гомоморфную модель, використовує *принцип керування впливом на "головний" фактор*, прибігаючи до агрегування, лінеаризації зв'язків, апроксимуючи стохастические залежності детермінованими та ін. Часто впливу не врахованих у моделях факторів уводяться в модель за допомогою так званого "зовнішнього доповнення". Згідно з концепцією Ст. Вира, якийсь "чорний ящик" служить доповненням до моделі об'єкта керування, функціонуючи в якості блоку неформализуемых розв'язків, рандомизатора - датчика випадкових чисел і вносячи виправлення в модельні розрахунки. Таким чином, *принцип "зовнішнього доповнення"* забезпечує реалізацію системного підходу, облік впливу зовнішнього середовища, відкритий характер системи керування, оскільки "замкнена система не здатна, відправляючись від різних початкових умов, досягати певних мет".

<u>3) Динамічність</u>:

x(t) є X, u(t)єu, y(t)єy,
m(t)єm, ω(t)єΩ, t=T,
де T-T- упорядкована числова безліч.

<u>4) Наявність прямих і зворотних зв'язків</u>, що забезпечують причинно-наслідкові залежності в системі керування.

<u>5) Наявність мети керування</u>, досягнення якої є макрофункцією керованої системи.

Ціль системи залежно від її характеру задається різним образом. Для систем, робота яких завершується досягненням мети, потрібно, щоб y(t) досяглося цільової безлічі Ỹ. В окремому випадку, щоб виконувалася умова y(t) = ỹ є Ỹ . Для інших систем необхідно, щоб в(t) досяглася області Ỹ, а потім продовжувала рух по траєкторії y'(t) є Ỹ або не виходила з області Ỹ.

<u>6) Керованість</u>: можна знайти такий керуючий вплив m, яке за кінцеве число кроків переведе систему в шуканий стан;, що забезпечує досягнення мети.

Уведення поняття керованості системи викликає необхідність розгляду питань якості керування і його ефективності.

Нехай Ỹ - деяка задана цільова безліч, M - безліч припустимих керувань.

Якщо керуючий вплив m є M перетворить деяка вихідна подія (to, u_0) в (t_1, u_1) є Ỹ і t_1 є час першого досягнення, то t_1 називається *моментом досягнення*, а різниця (t_{1-t0}) -*часом досягнення*.

Речовинне число, що обчислюється як деякий функціонал:

$O(t_0,u_0,m(*),t_1,u_1)$, (1.8)

де $u_1 = \varphi(t_1,t_0,u_0,m(*))$

$y_1 = \psi\ (t_1, u_1\ )$

називається *якістю керування* m(*) щодо початкової події (t_0, U_0).

Визначення 3.2. Абстрактним завданням керування називається складне математичне поняття, утворене сукупністю:

(S,T,Y,M,U,O), (1.9)

де S - динамічна система,

T-T- безліч моментів часу,

Y - цільова безліч,

M - безліч припустимих керувань,

U - підмножина безлічі початкових подій,

O - функціонал якості керування; -

і вимогою: " для кожної початкової події $(t_0,u_0)єU$ визначити деяке припустиме керування m(*) є M, яке переводять (t_0,x_0) в Y і яке при цьому мінімізує функціонал $O(t_0,u_0, m(*), t_1, u_1)$, де t, - момент першого досягнення, а u_1 ; - крапка першого досягнення безлічі Y ".

Визначення 1.2 є досить загальним, однак служить базою для подальшого дослідження необхідних умов оптимальності систем керування. З'ясування питань існування оптимального розв'язку й пошуку такого розв'язку є втримуванням математичної теорії керування (теорія Гамильтона-Якоби, принцип максимуму Понтрягина, методи функціонального аналізу, ряд чисельних методів).

Визначення 3.3. Розглянемо довільну динамічну систему S. *Законом керування* називається відображення ξ: T x U —>• X, що ставить у відповідність кожному стану u(t) і кожному моменту часу t значення x(t)= ξ (t, u(t)) вхідного впливу в цей момент часу.

При цьому інші параметри динамічної системи S можуть впливати на конкретний вид функції ξ.

Принцип, відповідно до якого вхідні впливи повинні обчислюватися через стани, був сформульований Річардом Беллманом, що вказали на його першорядну важливість. У цьому принципі укладена найважливіша ідея теорії керування. Це наукова інтерпретація *принципу " зворотному зв'язка"* керування, що становить основу будь-якого.

Важливо відзначити, що в поточному стані системи втримується вся інформація, необхідна для визначення необхідного керуючого впливу, оскільки, по визначенню динамічної системи, майбутнє поведінка системи повністю визначається його нинішнім станом і майбутніми керуючими впливами.

Оптимальне керування укладається у виборі й реалізації таких керувань uєU, які є найкращими з погляду ефективності досягнення мети керування.

Можна виділити два основні типи критеріїв ефективності систем керування.

Критерій ефективності першого роду — ступінь досягнення мети системою. Якщо ціль системи задана областю мети Y або крапкою в є Y, то критерієм ефективності I роду є відхилення p, обумовлене в термінах Y . Ціль уважається досягнутої, якщо

$p(y(t)Y) = 0$, або $p(y(t),y)< \varepsilon$, (1.10)

де ε - задана мала величина.

При завданні цільової функції

$F(y(t_0),y'(t))\rightarrow extr$, $y(t_0)$ є $Y,y'(t)$ є Y, (1.11)

якщо існує F*=extrf, критерій I роду - різниця (F*-F).

Критерій ефективності другого роду — оцінка ефективності траєкторії руху системи й мети. Він визначається як деяка функція:

$f(x,u,y)\rightarrow extr.$ (1.12)

Критерій II роду дозволяє порівнювати й оцінювати різні зміни станів системи в ході досягнення мети. Так, поліпшення роботи системи за критерієм другого роду дозволяє досягтися мети при кращих значеннях входів: забезпечити випуск того ж кількості продукції Y при менших витратах факторів проведення X; або при кращих значеннях станів системи: мінімальному часі непродуктивного простою системи, мінімумі відходів і шлюбу і т.д. ;

У ряді випадків можуть бути використані критерії третього типу - змішані, у яких відображається комбінація наведених показників ефективності шляхи й ступені досягнення мети системою.

3.3 МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ СИСТЕМА КЕРУВАННЯ.

Для багатьох складних систем одержати критерій ефективності у вигляді скалярної функції не представляється можливим. У цьому випадку використовується векторний критерій, складовими якого є самостійні, незалежні критерії. Такі системи називаються многокритериальными.

Паліативним решением.є штучне введення коефіцієнтів, що дозволяють одержати лінійну комбінацію складових векторного критерію, приводячи його в такий спосіб до скалярного виду. Однак, беручи до уваги незалежність складових критеріїв, процедура визначення переваг на безлічі критеріїв і введення узагальненого критерію представляють найчастіше більшу складність. Досить ефективним способом, використовуваним у випадку векторного критерію, є вибір керувань, оптимальних по Парето. Безліч оптимальних по Парето розв'язків становлять такі, жодне з яких не доминируется в певному змісті ніяким іншим розв'язком із цієї безлічі. Таким чином, кожне з безлічі оптимальних по Парето керувань краще будь-якого іншого по одному з незалежних критеріїв.

3.4 ІЄРАРХІЧНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.

Важливий клас систем керування утворюють системи довільної природи (технічні, економічні, біологічні, соціальні) і призначення, що мають Багаторівневу структуру у функціональному, організаційному або Якому-небудь іншому плані. Характерними ознаками ієрархічних систем керування (ІСУ) є: вертикальна декомпозиція системи на підсистеми, пріоритет підсистем верхнього рівня стосовно нижележащим, наявність зворотних зв'язків між рівнями. Широке використання й універсальність ІСУ обумовлені рядом переваг у порівнянні із системами радіального (централізованого) керування:

воля локальних дій у рамках накладених обмежень

можливості доцільної комбінації локальних критеріїв., функціонування окремих підсистем і глобального критерію оптимальності системи в цілому;

можливості стислого, агрегированного вистави актуальної інформації про результати керування зворотного зв'язку, що надходить по каналах;

підвищена надійність системи керування, наявність властивостей керованості, адаптивності, організованості й ряду інших властивостей, специфічних для конкретних систем;

універсальність концепції керування й підходів до розв'язку завдань керування в ІСУ;

економічна доцільність у порівнянні із системами керування іншої структури. Остання якість вимагає обґрунтування в кожному конкретному випадку.

Теорія керування ІСУ включає наступні основні розділи:

структурний аналіз і синтез ІСУ;

проблема координації в ІСУ;

оптимізація функціонування ІСУ.

Завдання, розв'язувані в названих розділах, будуть розглянуті у відповідних главах справжнього підручника.

Принцип иерархичности керування є вираженням цілісності систем; він, визначаючи організованість, дозволяє знайти способи керування складними системами. Якщо організованість системи отсутствует, неможливо визначити завдання керування навіть для простих об'єктів.

Цей принцип передбачає спосіб розчленовування системи на елементи й взаємодіючі підсистеми й багатоступінчастої побудови керуючих систем, у яких функції керування розподіляються між супідрядними частинами. У розчленованій системі одна частина виявляється "вкладеної" в іншу і є її структурної складовій. У такій системі існує взаємозв'язок підсистем по одним відносинам і їх властивостям і незалежність по інших. ,

Визначення 1.4. Спільне завдання оптимізації.

Нехай О: M→Q - деяка функція, що відображає безліч М у безліч Q, яке впорядковано відношенням "≤". Тоді завдання оптимізації може бути сформульована в такий спосіб: для даного підмножини M≤M знайти таке m є М, що для всіх m є М виконується умова: .

O(m)>O(т). (1.13)

Безліч М є безліччю розв'язків завдання керування, безліч М - безліччю припустимих розв'язків, функція О — цільовою функцією, а Q — безліччю оцінок. Елемент m є М, що задовольняє умові (3.13) при всіх m є М, називається розв'язком завдання оптимізації парою, що задається (О,М).

Найчастіше функцію О визначають за допомогою функцій:

P: M → Y і O: M * Y → Q (1.14)

O(m) = O(m,P(m)).

У цьому випадку функцію Р називають вихідною функцією, а функцію О - функцією якості або оцінною функцією; завдання оптимізації тоді визначається трійкою (P,J,M) або парою (Р,О), якщо М = М.

Визначення 1.5. Система S з X * Y називається системою прийняття розв'язків, якщо існує таке сімейство завдань прийняття розв'язків Dx, х є X, розв'язку яких належить безлічі М, і таке відображення P: М-М—> Y, що для будь-якого х є X и у є Y пари (х, у) належить системі S тоді й тільки тоді, коли найдеться таке m є М, що m є розв'язком завдання Dx, а Р(m)=в.

Слідство. Будь-яку систему керування S можна представити як систему прийняття розв'язків й навпаки, просто опираючись на припущення про доцільність її поведінки.

Прийняття розв'язків у системі керування проводиться на основі відбору й перетворення інформації. Цитуючи У.Р. Эшби, можна відзначити, що "будь-яка система, выполняющая підходящий відбір (на щабель вище випадкового), провадить його на основі отриманої інформації".

Прийнято розрізняти системи керування й процеси керування. Розгляд утримування або функцій керування ставиться до процесів керування. Склад функцій керування визначається особливостями системи керування й цілями дослідження.

4 ІНФОРМАЦІЯ

4.1 ВИЗНАЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

Інформація – (лат. informatio – роз'яснення, виклад, поінформованість) невід'ємний елемент будь-якого процесу керування в економічних, технічних системах, суспільстві, живому організмі. Інформація – така ж невід'ємна властивість матерії, як маса й енергія. Інформація – одне з найбільш загальних понять науки, що позначає деякі відомості, сукупність яких-небудь даних, повідомлень і т.п. Інакше, під інформацією розуміється повідомлення, що усуває невизначеність у тій області, до якої воно ставиться. Академік В.М. Глушков дав наступне визначення: інформація – це захід невизначеності розподілу матерії й енергії в просторі й у часі, показник змін, якими супроводжуються всі процеси, що протікають у світі. У суспільній практиці поняття інформації ототожнюється з утримуванням якої-небудь звістки, яка може мати форму усного повідомлення, листа, доповіді, результатів дослідження, спостереження та ін. Н. Вінер писав, що в кібернетику інформація розуміється не тільки як обмін між людиною й машиною, але і як позначення втримування, отриманого із зовнішнього миру в процесі нашого пристосування до нього й пристосування до нього наших почуттів.

Найважливішим інструментом дослідження інформації є теорія інформації, присвячена проблемам збору, передачі, зберігання, переробки й визначення кількісного заходу інформації.

Творцями теорії інформації з'явилися Л. Хартли, К. Шеннон, А.А. Харкевич, С. Гольдман і ін. Основи статистичної теорії інформації сформульовані, головним чином, К. Шенноном. Але теорія Шеннона виявилася застосовної до досить широкого кола питань, хоча вона й не претендує на адекватне відображення всього втримування інформації, уживаного в науці й у повсякденнім житті в різному змісті.

4.2 КІЛЬКІСНИЙ ВИМІР ІНФОРМАЦІЇ

Інформацію можна виміряти кількісно, підрахувати. Для цього абстрагуються від змісту повідомлення. Шеннон дав формальне визначення кількості інформації на основі імовірнісного підходу й указав критерій, що дозволяє порівнювати кількість інформації, що доставляється різними сигналами.

Зміст укладається в тому, що між сигналом і подією існує однозначний зв'язок. Сукупність сигналів є ізоморфним відображенням деяких сторін реальної події. Зв'язок сигналу з подією сприймається як значеннєве втримування сигналу або повідомлення, сутність якого полягає в тому, що завдяки ньому одержувач побуждается до вибору певного поведінки. Усяке повідомлення може розглядатися як відомості про певну подію x_i в момент t_i. Ця подія містить дані про те, у якому з безлічі можливих станів перебувала система *S* у момент часу t_i. Процес зв'язку припускає наявність безлічі можливостей. У.Р. Эшби наводив наступний приклад.

Ув'язненого повинна відвідати дружина. Сторож знає, що вона прагне повідомити чоловіка, пійманий чи його спільник. Їй не дозволено робити ніяких повідомлень. Але сторож підозрює, що вони домовилися про якийсь умовний знак. От вона просить послати чоловікові чашку кава. Як сторож може добитися, щоб повідомлення не було передано? Він буде міркувати так: може бути, вона вмовилася передати йому солодкий або несолодкий кава, тоді я можуть перешкодити, додавши в кава цукру й сказавши про цей ув'язненому. Може бути, вона вмовилася послати або не послати йому ложку, тоді я перешкоджу, вилучивши ложку й сказавши йому, що передача ложок заборонена. Вона може послати йому не кава, а чай, але все знають, що в цей час видається тільки кава. Як видне, сторож інтуїтивно прагне припинити всяку можливість зв'язку. Для цього він зводить усі можливості до одній – тільки із цукром, тільки без ложки, тільки кава. Якщо всі можливості зведені до одній, зв'язок переривається напій, що й посилає, не має змоги передати інформацію. Із цього прикладу видне, що передача й зберігання інформації суттєво пов'язані з наявністю деякої безлічі можливостей.

Крім того, інформація, передана окремим повідомленням, залежить від тієї безлічі, з якого воно обране. Наприклад, два солдати перебувають у полоні – один у країні *A*, іншої в країні *B*. Їм дозволили послати дружинам телеграми з утримуванням «Я здоровий». Однак відомо, що в країні *A* полоненим дозволяється вибирати наступні повідомлення: я здоровий, я злегка хворий, я серйозно хворий. У країн *У* дозволя_ повідомляти тільки: я здоров, означающее – я жив. Обидві жінки одержали однакову фразу, але вони будуть розуміти, що отримана ними інформація не є тотожною. Із цього прикладу видне, що передана інформація не є внутрішньою властивістю індивідуального повідомлення. Вона залежить від тієї безлічі, з якого обрана.

Повідомлення можуть бути безперервні й дискретні. Безперервні повідомлення одержують нескінченно малі збільшення й сукупність послідовних символів не тільки не кінцева, але й не піддається обчисленню. Звичайно в практиці застосовуються дискретні повідомлення, під якими розуміється кінцева послідовність символів, узятих з деякого набору символів, називаного алфавітом. Кожний окремий символ називається буквою алфавіту.

Кінцева послідовність символів, узятих з деякого алфавіту, називається словом. Використання дискретних повідомлень дозволяє передавати дані про стан, обраний з як завгодно великого числа можливих стані, за допомогою використання деяких різних символів з алфавіту. Число цих символів називається *підставою коду*. Кількість різних символів, з яких складаються слова, залежить від підстави коду. Загальноприйнята арабська цифрова система надає спеціального значення числу 10. Однак десяткова система числення виправдовується тільки звичкою. У ряді європейських і азіатських країн, а також у Росії до початку XX століття якоюсь мірою використовували виставу чисел у двійковій системі.

Виявляється, що будь-яке як завгодно складне повідомлення, можна успішно передавати за допомогою послідовності, побудованої із двох різних символів. В усьому світі прийнято два символи: 0 і 1, яким відповідають 0 – відсутність сигналу, 1 – наявність сигналу. Якщо система може перебувати в одному з N різних станів, безліч яких $x_1, x_2, ..., x_N$ відомо одержувачеві повідомлення, то для передачі відомостей про стан системи досить указати номер i ($i = 1, 2, ..., N$) стану, у якім вона перебуває. Цей номер являє собою слово в алфавіті, буквами якого є цифри. Американська телефонна компанія Белла скористалася цим і побудувала обчислювальну машину, в основу якої покладено двійкове числення. Замість того, щоб записувати число у вигляді суми стількох-те одиниць, стількох-те десятків, стількох-те сотень, з таким же правом можна представляти ціле число у вигляді суми одиниць, двійок, четвірок, вісімок і т.д.

При цьому всяке число i може бути записане в такому виді:

$a_m a_{m-1} ... a_1$,

де кожне a може ухвалювати тільки два значення: 0 або 1. Цей запис означає: $i = a_m \cdot 2^{m-1} + a_{m-1} \cdot 2^{m-2} + ... + a_1$. Якщо число в десятковому записі становить $i = 35$, то у двійковому записі воно має такий вигляд: $i = 100011$. Якщо це число записати знову в десятковій системі числення, то одержимо:

$35 = 1 \cdot 32 + 0 \cdot 16 + 0 \cdot 8 + 0 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 1$.

Запис чисел від 1 до 15 у двійковій системі числення має такий вигляд: 1, 10, 11, 100, 101, 110, 111, 1000, 1001, 1010, 1011, 1100, 1101, 1110, 1111, а число 27 передається послідовністю символів 11011. З наведених прикладів видне, що повідомлення про будь-яку подію може бути записане у вигляді слова у двухбуквенном алфавіті. Різних двійкових послідовностей довжини m є 2^m, тому що кожний символ може ухвалювати два значення незалежно від інших. За допомогою двійкової послідовності довжини m можна передати повідомлення про подію, обрану з N можливих подій, де $N = 2^m$, або інакше:

$m = \log_2 N$.

Якщо передавати то ж повідомлення не двійковим кодом, а десятковим, то потрібна була б послідовність довжини $m' = \log_{10} N$. При цьому $m' \sim m$. З ц видн, що m відрізня_ від m' постійн множник, що независящим от N Вибір коефіцієнта пропорційності зводиться до вибору підстави логарифмів і одночасно означає вибір одиниці кількості інформації. Звичайно беруться логарифми по підставі 2. У цьому випадку за одиницю ухвалюється кількість інформації, яка укладається в одному двійковому розряді, тобто виборі одного із двох можливих повідомлень. Така одиниця інформації називається бітом. Слово «bit» є скороченим від англійського слова «binary digit», що означає двійковий розряд. Двійкову одиницю, або біт можна уявити собі як невідомий заздалегідь відповідь «так» або «ні» на запитання, відповідь на який ми ніяк не можемо передбачити й тому змушено вважати обоє відповіді равновероятными. Тому в німецькій літературі цю двійкову одиницю називають «так – ні» (ja Nein-Einheit). Якщо подія має два равновероятных результату, то це означає, що ймовірність кожного результату рівна 1/2. Повідомлення про те, що народився хлопчик або дівчинка несе інформацію рівну 1 – (0,5 хлопчик + 0,5 дівчинка). Крім вистави чисел за допомогою двійкових індикаторів (устрій, який у будь-який момент часу може бути тільки в одному із двох можливих станів: 1 або 0), кожну десяткову цифру можна представити за допомогою чотирьох двійкових цифр, яке називається двоїчно-кодованою десятковою виставою. Така вистава вимагає не менше битов, чому звичайне двійкове.

Мінімальна одиниця інформації, яку обробляють ЕОМ, називається байтом. Ця одиниця укладає в собі один символ. Символи існують трьох типів: цифри – 0, 1, 2, …, 9, букви *Aa*, *Bb*, …, *Zz*. Спеціальні символи (, (, (, (; пробіли й ін. Усього маємо 256 різних символів. Символ представляється двома десятковими цифрами, які в сучасних ЕОМ збожеволіють в один байт. Байт складається з дев'яти битов. Вісім битов для вистави інформації й один біт –

для перевірки на парність. Вісім битов можуть представляти вісім двійкових цифр або дві десяткові цифри у двоїчно-кодованій десятковій виставі, наприклад, число 31 представляється як 00110001, де 0011 представляє цифру 3, а 0001 – цифру 1. Біт перевірки на парність додається до кожного байта таким чином, щоб повне число складових його одиниць було завжди непарним. Непарність служить перевіркою на точність. Коли байт пересилається усередині ЕОМ, проводиться перевірка, чи представляє він правильний код. Якщо він виявиться парним числом одиниць, то машинний контроль повідомляє про помилку. У теоретичних дослідженнях при визначенні кількості інформації зручно користуватися не двійковими, а натуральними логарифмами. Відповідна одиниця інформації називається натуральною одиницею, скорочено «Нит» або «Нат». Якщо при визначенні кількості інформації користуються десятковими логарифмами, одиничну інформацію одержують, виділивши повідомлення з 10 равновероятных повідомлень. Відповідна одиниця інформації називається децитом (decimal – digit – десятковий символ).

Кількість інформації розраховуючи на одиницю часу називається швидкістю передачі інформації й обчислюється, наприклад, у біт/сек.

Яким би не була підстава коду, довжина послідовності, необхідної для передачі деякого повідомлення, пропорційна логарифму числа можливих повідомлень. Якщо статистичні зв'язки між символами відсутні, то максимальна кількість інформації ($H_{\max}$), яке втримується в повідомленні, пропорційно довжині:

$$H_{\max} \sim m \sim \log N .$$

Цей захід максимальної кількості інформації, яка може втримуватися в повідомленні, запропонована в 1928 р. американським ученим Л. Хартли. Захід максимальної кількості інформації має двома найважливішими властивостями: вона монотонно зростає зі зростанням N і є аддитивной. *Властивість аддитивности* означає наступне: повідомлення a вибирається з N_1 можливих повідомлень, незалежне від a повідомлення b вибирається з N_2 можливих повідомлень. Інформація, яка втримується в складнім повідомленні, що полягає з повідомлення a й повідомлення b, залежить від числа можливих складних повідомлень, їх $N = N_1 \cdot N_2$. Звідси:

$$H_{\max}(N_1 N_2) = \log_2 N_1 N_2 = \log_2 N_1 + \log_2 N_2 = H_{\max}(N_1) + H_{\max}(N_2).$$

Очевидно, що в складнім повідомленні втримується сума інформації, яку несуть окремі повідомлення, що узгодиться з інтуїтивними виставами.

Величина $N_{\max}$ вказує верхню границю кількості інформації, яка може втримуватися в повідомленні. Однак дійсна кількість інформації залежить не тільки від числа можливих повідомлень, але й від їхніх імовірностей. Заслуга К. Шеннона полягає в тому, що він указав на існування невизначеності щодо того, яке саме конкретне повідомлення з безлічі повідомлень відправника буде обрано для передачі. Це зв'язує інформацію з теорією ймовірностей. Оцінка кількості-інформації ґрунтується на законах теорії ймовірностей. Повідомлення має цінність, воно несе інформацію тільки тоді, коли ми довідаємося з нього про результат події, що має випадковий характер, коли воно якоюсь мірою зненацька. При цьому цінність інформації в основному визначається ступенем несподіванки повідомлення.

Виявилося, що стан невизначеності вибору має вимірну кількісну оцінку, називану *ентропію джерела повідомлень* (H). Імовірність можна описати як частоту появи саме даного результату в довгій серії однотипних випробувань.

4.3 НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ

Поняття можливості, випадковості, імовірності перебувають у певному відношенні з поняттям невизначеності. *Невизначеність* існує об'єктивно. Вона завжди має місце тоді, коли проводиться вибір з деякої сукупності елементів одного елемента. *Ступінь невизначеності* вибору характеризується відношенням числа обраних елементів до загального числа елементів сукупності (безлічі). Якщо безліч складається з одного елемента, то ступінь невизначеності дорівнює нулю. Імовірність вибору в цьому випадку рівна 1. Безліч із двох елементів має ймовірність вибору, рівну $p = \frac{1}{2}$. Ступінь невизначеності тут буде рівний 2. Взагалі збільшення числа елементів у безлічі веде до росту ступеня невизначеності й до зменшення ймовірності вибору одного елемента. Нескінченне число елементів у безлічі відповідає нескінченній невизначеності й нульової ймовірності. Із цього видне, що ступінь невизначеності й ступінь імовірності зв'язано один з одним. Знаючи ймовірність, можна визначити ступінь невизначеності. Якщо ми повинні вгадати одне з 20 чисел, те, виходячи з міркувань равновозможности, імовірність угадати задумане число буде становити $\frac{1}{20}$, а ступінь невизначеності рівний 20. Однак при цьому простої залежності $H = \frac{1}{p}$ не виходить (тут H – ступінь невизначеності й p – імовірність вибору елемента). При $p = 0$ ступінь невизначеності дорівнює нескінченності: $H = \frac{1}{0} = \infty$.

Якщо ж $p = 1$, те $H = \frac{1}{1} = 1$, що є невірним, тому що при $p = 1$ ступінь невизначеності повинна бути рівна 0, тому що в безлічі один елемент вибирати не із чого. У зв'язку із цим залежність між невизначеністю H и ймовірністю p виміряється логарифмом величини $\frac{1}{p}$:

$$H = \log \frac{1}{p} = -\log p. \qquad (1)$$

При цьому можна брати логарифми по будь-якій підставі, але прийнято брати логарифми по підставі два.

Вивченням ступеня невизначеності й зв'язки її з імовірністю займається статистична теорія інформації. Формула $H = \log_2 \frac{1}{p}$ є логарифмічним заходом кількості інформації. У теорії інформації розглядаються будь-які події, у результаті яких зменшується, знищується, зникає невизначеність.

Для оцінки кількості інформації, пов'язаної з появою одного повідомлення, користуються формулою:

$$h_i = -\log_2 p_i. \qquad (2)$$

де p_i – імовірність появи події S_i.

Таку оцінку індивідуальної кількості інформації називають індивідуальною ентропією. Індивідуальна ентропія події тим більше, чим менше ймовірність його появи. Однак статистичну теорію інформації не цікавить індивідуальна кількість інформації. Істотної для характеристики будь-якого досвіду є не інформації $n_1, n_2, ..., n_N$, пов'язані з окремими исходами досвіду, а середня інформація, яка визначається в такий спосіб.

Нехай для деякої події x відомо, що кількість різних исходов рівно N, а ймовірності їх рівні відповідно $p_1, p_2, ..., p_N$, причому $p_1 + p_2 + ... + p_N = 1$.

У результаті досить великої кількості випробувань (їх число рівне M) отримане, що перший результат настав m_1 раз, другий – m_2 раз, …, N-*Й* – m_N раз ($m_1 + m_2 + ... + m_N = M$). Відомо, що в результаті одиничного настання і-*го* результату досвіду одержуємо індивідуальну кількість інформації:

$n_i = -\log p_i \quad (i = 1, 2, ..., N)$.

Оскільки перший результат настав m_i раз, те отримане при цьому сумарна кількість інформації рівно $n_1 m_1$, де n_1 – індивідуальна кількість інформації, отримане в результаті одного настання першого результату досвіду. Аналогічно одержуємо сумарну кількість інформації, отримане при настанні другого результату досвіду і т.д. Загальна кількість інформації, отримане в результаті *M* випробувань, рівно

$$n_1 m_1 + n_2 m_2 + ... + n_N m_N,$$

а середня кількість інформації, отримане в одному випробуванні, рівно

$$\frac{n_1 m_1 + n_2 m_2 + ... + n_N m_N}{M}.$$

При $M \to \infty$ $\frac{n_i}{M} \to p_i$.

Звідси одержуємо середню кількість інформації, що характеризує подія *x*:

$$H(x) = n_1 p_1 + n_2 p_2 + ... + n_N p_N = -p_1 \log p_1 - p_2 \log p_2 - ... - p_N \log p_N.$$

Припустимо, що досвід полягає у витягу однієї кулі з ящика, у якім перебуває один чорний і дві білі кулі. Виходячи із класичного підходу, імовірність вибору чорної кулі рівна $\frac{1}{3}$, а ймовірність вибору білої кулі рівна $\frac{2}{3}$. Середнє значення невизначеності виходить, якщо ймовірність окремого результату множиться на його невизначеність, і ці добутки складаються:

$$H = -\frac{1}{3}\log_2 \frac{1}{3} - \frac{2}{3}\log_2 \frac{2}{3} = 1{,}92 \text{ бит}.$$

У загальному виді формула ступеня невизначеності (кількості інформації в бітах) має такий вигляд:

$$H = -\sum_{i=1}^{N} p_i \log_2 p_i. \qquad (3)$$

Ця формула запропонована в 1948 р. К. Шенноном. Її називають ще формулою абсолютної негэнтропии. Вона аналогічна формулі ентропії, тільки має негативний знак.

Знак мінус у правій частині наведеного рівняння використаний для того, щоб зробити величину *H* позитивної (оскільки $p_i \le 1, \log_2 p_i \le 0$, $\sum p_i = 1$).

Покажемо, що $H_{\max}$, одержуване при равновероятных исходах події, є верхньою границею значень *H*. Для цього знайдемо максимальне значення функції

$$H(p_1, p_2, ..., p_N),$$

використовуючи множник Лагранжа (.

Знайти $\max F = -\sum_{i=1}^{N} p_i \log p_i - \lambda\left(\sum_{i=1}^{N} p_i - 1\right)$.

Дорівняємо нулю частки похідні функції по p_i:

$$\frac{\partial F}{\partial p_i} = -\log p_i - \frac{1}{p_i} p_i \log e - \lambda = -\log p_i - \log e - \lambda = 0.$$

Звідси $\log p_i = -\log e - \lambda$ й легко бачити, що всі $p_i = \frac{1}{N}$, отже, $H = H_{\max}$. Якщо ж подія є достовірною (при цьому $p_i = 1$, а інші $p_1 = 0$, $i \neq j$), то

$H = -0 \cdot \log 0 - 0 \cdot \log 0 + \ldots - 1 \cdot \log 1 + \ldots - 0 \cdot \log 0$.

Легко показати, що вираження $0 \cdot \log 0 = 0 \cdot (\infty) = 0$. Розкриємо невизначеність, використовуючи правило Лопиталя:

$$\lim(-p_i \log p_i) = \lim\left(p_i \log \frac{1}{p_i}\right) = \lim_{p_i \to 0} \frac{\log \frac{1}{p_i}}{\frac{1}{p_i}} =$$

$$= \lim \frac{p_i \log e \cdot \left(-\frac{1}{p_i^2}\right)}{\left(-\frac{1}{p_i}\right)^2} = \lim_{p_i \to 0} p_i \log e = 0.$$

Тоді одержимо $H = 0$ для достовірної події.

Отже, середня кількість інформації перебуває в межах

$0 \leq H \leq H_{\max}$.

Тепер можна сформулювати визначення умовної ймовірності. Якщо випадкова величина *x* ухвалює значення $x_1, x_2, \ldots, x_N$, а випадкова величина *y* ухвалює значення $y_1, y_2, \ldots, y_M$, то умовною ймовірністю називається ймовірність того, що *x* прийме значення x_i, якщо відомо, що *y* прийняло значення y_j.

Безумовна ймовірність $p(x_i)$ дорівнює умовної ймовірності, усередненої по всіх можливих значеннях *y*:

$$p(x_i) = \sum_{j=1}^{M} p(y_j) p(x_i / y_j), \qquad (4)$$

де $p(y_j)$ – імовірність j-*го* значення величини *y*, величина $p(y_j) p(x_i / y_j)$ – є ймовірність того, що *y* прийме значення y_j, а *x* – значення x_i. Вона називається спільною ймовірністю події (x_i, y_j) й позначається $p(x_i y_j)$.

Очевидно, якщо події *x* и *в* незалежні, те

$$p(x_i) = p(x_i / y_j). \qquad (5)$$

Невизначеність події *x* визначається по формулі:

$$H(x) = -\sum_{i=1}^{N} p(x_i) \log_2 p(x_i). \qquad (6)$$

Якщо події *x* и *в* залежні, і подія *в* прийняло значення y_j, то невизначеність події *x* стає рівною:

$$H_{y_j}(x) = -\sum_{i=1}^{N} p(x_i / y_j) \log_2 p(x_i / y_j). \qquad (7)$$

Тому що подія *в* може ухвалювати значення $y_1, y_2, ..., y_M$ з імовірностями $p(y_1), p(y_2), ..., p(y_M)$, середня невизначеність події x при будь-яких можливих исходах події y рівна:

$$H(x/y) = -\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} p(y_j)p(x_i/y_j)\log_2 p(x_i/y_j). \qquad (8)$$

Це умовна негэнтропия випадкової величини x при завданні випадкової величини *в*. Вона завжди не більше безумовної

$$H(x/y) \le H(x),$$

причому рівність має місце тільки в тому випадку, коли знання величини *в* не міняє ймовірностей значень величини x, тобто

$$p(x_i/y_j) = p(x_i),$$

яким би не було значення y_j. Ця умова означає, що невизначеність події x не зростає від того, що подія *в* стає відомо.

Для двох випадкових подій x и *в* ентропія спільної події рівна:

$$H(x,y) = H(y,x) = -\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} p(x_i, y_j)\log p(x_i, y_j) =$$

$$= -\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} p(y_j)p(x_i/y_j)\log p(y_j)p(x_i/y_j) =$$

$$= -\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} p(y_j)p(x_i/y_j)\log p(y_j) - \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} p(y_j)p(x_i/y_j)\log p(x_i/y_j) =$$

$$= -\sum_{j=1}^{M} p(y_j)\log p(y_j)\sum_{i=1}^{N} p(x_i/y_j) - \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} p(y_j)p(x_i/y_j)\log p(x_i/y_j).$$

В отриманім вираженні

$$-\sum_{j=1}^{M} p(y_j)\log p(y_j) = H(y), \quad \sum_{i=1}^{N} p(x_i/y_j) = 1,$$

а другий доданок є не що інше, як

$$H(x/y).$$

Отже,

$$H(y,x) = H(y) + H(x/y) \le H(y) + H(x).$$

Рівність досягається тоді, коли події x и *в* незалежні.

У якості заходу кількості інформації у випадковій величині *в* про випадкову величину x ухвалюється величина, на яку зменшується в середньому невизначеність величини x, якщо нам стає відомим значення величини *в*:

$$I(y,x) = H(x) - H(x/y) = -\sum_{i=1}^{N} p(x_i)\log_2 p(x_i) +$$

$$+\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} p(y_i)p(x_i/y_i)\log_2 p(x_i/y_i) = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} p(x_i/y_i)\log_2 \frac{p(x_i, y_j)}{p(x_i)p(y_j)}.$$

Ця формула виражає кількість інформації у випадковій величині *в* про випадкову величину x, як різниця між безумовної й умовної негэнтропией.

По формулі умовної негэнтропии будується вся сучасна статистична теорія інформації. Перехід від абсолютної негэнтропии до умовної здобуває фундаментальне вирішальне значення. Формула умовної негэнтропии виражає кількість інформації щодо заданої системи відліку, системи координат. Інакше кажучи, вона характеризує кількість інформації, що втримується в одному об'єкті щодо іншого об'єкта.

Класична теорія інформації дає корисний апарат, але він не універсальний і безліч ситуацій не укладаються в інформаційну модель Шеннона. Далеко не завжди можна заздалегідь установити перелік можливих станів системи й обчислити їхні ймовірності. Крім того, основним недоліком цієї теорії є те, що, займаючись тільки формальною стороною повідомлень, вона залишає осторонь їх цінність і важливість. Наприклад, система радіолокаційних станцій веде спостереження за повітряним простором з метою виявлення літака супротивника. Система S, за якою ведеться спостереження, може бути в одному із двох станів: x_1 – супротивник є, x_2 – супротивника немає. З'ясування фактичного стану системи принесло б у рамках класичної теорії інформації 1 біт, однак перше повідомлення набагато важливіше, що оцінити неможливо за допомогою імовірнісного підходу.

Статистична теорія інформації оперує лише ймовірностями исходов розглянутих досвідів і повністю ігнорує втримування цих исходов. Тому ця теорія не може бути визнана придатної у всіх випадках. Поняття інформації в ній трактується досить односторонньо.

Отже, знищення невизначеності, тобто одержання інформації, може відбуватися не тільки в результаті імовірнісного процесу, але й в інших формах. Поняття невизначеності виявляється ширше поняття ймовірності. Невизначеність – поняття, що відображає відсутність однозначності вибору елементів безлічі. Якщо цей вибір має випадковий характер, то ми маємо справу зі статистичною теорією інформації. Якщо ж цей вибір не випадковий, то необхідний *неімовірнісний підхід* до визначення інформації. Існують наступні неімовірнісні підходи до визначення інформації: динамічний, топологічний, алгоритмічний. Ми не будемо розглядати ці неімовірнісні підходи до визначення кількості інформації, відзначимо тільки, що кожний із цих методів виявляє щось загальне зі статистичним підходом. Воно полягає в тому, що ці методи вивчають перехід від невизначеності до визначеності. Але все-таки ці методи відрізняються від статистичного підходу. Один з неімовірнісних підходів до визначення кількості інформації належить радянському вченому А.Н. Колмогорову. За аналогією з імовірнісним визначенням кількості інформації як функції зв'язки двох систем, він уводить визначення алгоритмічної кількості інформації.

Кількість інформації, що втримується в повідомленні, можна зв'язувати не тільки із заходом невизначеності системи, але й з її структурною складністю й точністю вимірів. Такий підхід пропонується до оцінки наукової інформації, що виникає в результаті аналізу процесу спостережень і експерименту.

Кількість різних ознак, що характеризують даний предмет, тобто його розмірність або число ступенів волі, є заходом структурної інформації. Ясно, що кольорове зображення містить у собі більше інформації з порівняння із чорно-білим зображенням того ж об'єкта. Одиниця структурної інформації – логон – означає, що до наявної вистави можна додати одну нову помітну групу або категорію.

Кількість метричної інформації пов'язане з розв'язною здатністю вимірів. Наприклад, експеримент, результат якого має погрішність, рівну 1%, дає більше інформації, чому експеримент, що характеризується погрішністю в 10%.

Одиницею виміру метричної інформації є метрон. У випадку числового параметра ця одиниця служить заходом точності, з якого цей параметр визначений.

Статистичний і нестатистичний підходи в теорії інформації стосуються тільки кількості інформації, але інформація має ще і якісний аспект. Об'єднання елементів у безліч завжди припускає наявність у них деякої властивості, ознаки, завдяки чому вони утворюють дану безліч а не інше. Отже, кожний елемент безлічі має певну якісну відмінність від елемента іншої безлічі. Крім того, усередині безлічі відмінність елементів друг- від друга носить теж якісний характер. Пошук якісного аспекту інформації саме й полягає в обліку природи елементів, поєднуваних у безлічі, в обліку якісного різноманіття матерії.

Дотепер інформація розглядалася як знята невизначеність, що усувається. Саме те, що усуває, зменшує будь-яку невизначеність і є інформація. Однак інформацію можна розглядати не тільки як зняту невизначеність, а трохи ширше. Наприклад, у біології інформація – це насамперед сукупність реальних сигналів, що відображають якісне або кількісну відмінність між якими-небудь явищами, предметами, процесами, структурами, властивостями. Такий більш широкий підхід до визначення поняття інформації зробив У. Росс Эшби. Він уважає, що поняття інформації невіддільно від поняття різноманітності. Природа інформації укладається в різноманітності, а кількість інформації, виражає кількість різноманітності. Те саме повідомлення при різних обставинах може містити різна кількість інформації. Це залежить від різноманітності, яка спостерігається в системі.

Слово «різноманітність», означає число різних елементів у безлічі. Так, наприклад, безліч *c*, *b*, *c*, *a*, *c*, *c*, *a*, *b*, *c*, *b*, *b*, *a*, якщо не брати до уваги порядок розташування елементів, містить 12 елементів, і тільки три з них різні: *a*, *b*, *c*. Така безліч має різноманітність у три елементи.

Безліч із різноманітністю й безліч із імовірностями мають еквівалентні властивості. Так, безліч, у якого всі елементи різні, має максимальна кількість різноманітності. Чим більше в системі різноманітності, тим більше невизначеність у поведінці такої системи. Зменшення різноманітності зменшує невизначеність системи. Імовірність вибрати навмання даний елемент із безлічі з максимальною різноманітністю дорівнює одиниці, діленої на кількість усіх елементів безлічі $\frac{1}{N}$. Неважко бачити, що це аналогічно статистичної сукупності з рівномірним розподілом імовірностей. Кількість інформації в цьому випадку має максимальне значення. Безліч, у якого всі елементи однакові, містить мінімальна кількість різноманітності – усього в один елемент. Аналогією такої безлічі є статистична сукупність із таким розподілом імовірностей, коли одна з них дорівнює одиниці, а інші нулю. Кількість інформації в такій сукупності дорівнює нулю. У безлічі інформація з'являється тільки тоді, коли один елемент відрізняється від іншого. Подібно ймовірності різноманітність може вимірятися як число різних елементів і як логарифм цього числа, наприклад, по підставі два. Між мінімальною й максимальною кількістю різноманітності в безлічі існує ряд проміжних станів, які з'являються в результаті обмеження різноманітності. Поняття *обмеження різноманітності* є дуже важливим. Воно являє собою відношення між двома безлічами. Це відношення виникає, коли різноманітність, що існує при одних умовах, менше, чим різноманітність, що існує при інших умовах.

Обмеження різноманітності досить звичайні в навколишньому нас світі. Будь-який закон природи має на увазі наявність деякого інваріанта, тому всякий закон природи є обмеження різноманітності.

Навколишній світ надзвичайно багатий обмеженнями різноманітності. Без обмежень різноманітності мир був би повністю хаотичним. Обмеження різноманітності відповідає зменшенню кількості інформації, тому обмеження різноманітності рівносильне поняттю, що встановився в статистичній теорії, надмірності. Надмірність тим більше, чим більше обмеження різноманітності. Якщо ж елементи в безлічі однакові, то надмірність дорівнює одиниці. Якщо в ящику всі кулі виявляються однакового кольору, то їх надмірність по кольору дорівнює одиниці, якщо ж усі кулі будуть різного кольору, то надмірність дорівнює нулю. Наявність в інформації *якості* викликає необхідність у класифікації видів інформації. Розрізняють *елементарну інформацію*, тобто інформацію в неживій природі, біологічну, логічну, людську, або соціальну. Для соціальної інформації характерне виділення двох аспектів: *семантичного*, пов'язаного з утримуванням повідомлень, і *прагматичного*, пов'язаного з корисністю їх для одержувача.

4.4. СЕМІОТИКА

Розвиток якісної сторони в дослідженнях інформації тісніше всього пов'язане із семіотикою — теорією знакових систем. Семіотика досліджує знаки як особливий вид носіїв інформації.

Відношення між знаками, позначуваними предметами і їх відображенням у формі понять і моделей, вивчаються іншим аспектом семіотики — семантикою. Цими відносинами визначається втримування інформації, переданої за допомогою знаків.

У цей час ще не розроблені методи точного кількісного визначення значеннєвого втримування інформації. Найбільш відомими підходами до побудови теорії семантичної інформації є теорія Карнапа й Бар-Хиллела, заснована на понятті логічної ймовірності, і теорія радянського вченого Ю.А. Шрейдера, що має невероятностпый характер.

Відносини між знаками і їх споживачами, з погляду використання одержуваної інформації й впливу знаків на поведінку системи, вивчається іншим розділом семіотики — прагматичною теорією інформації.

Предметом її дослідження є визначення цінності інформації для споживача. Цінність інформації — є відношення суб'єкта, інформації й мети, де інформація виступає як об'єктивний фактор або носій цінності. Цінність інформації є важливою характеристикою для кібернетичних систем, тому що вона пов'язана з їхнім функціонуванням.

Ціннісний критерій інформації є придатним, коли рівняються системи, що виконують ту саму функцію, але, що мають внутрішню різноманітність. Кожне повідомлення важливе оцінювати не з погляду пізнавальних характеристик, а з погляду корисності для виконання функцій керування. Виходячи із цих міркувань, А.А. Харкевич запропонував визначати захід цінності інформації I_C як зміна ймовірності досягнення мети при одержанні цієї інформації:

$$I_C = \log p_1 - \log p_0 ,$$

де p_0 — імовірність досягнення мети до одержання інформації;

p_1 — імовірність досягнення мети після одержання інформації.

Інший підхід до проблеми цінності інформації здійснений М.М. Бонгардом. Він уводить поняття «корисна інформація», зв'язуючи повідомлення з тим, яке завдання вирішує одержувач, що він знає до приходу повідомлення, і як він його витлумачує. Цей підхід має ймовірносно-алгебраїчну сутність і носить більш загальний характер, чому захід цінності інформації, запропонований А.А. Харкевичем.

Між елементами будь-якої системи й між різними системами існують інформаційні зв'язки. Щоб мати вистава про стан системи, необхідно якимось способом оцінювати значення її координат. При цьому виявляється, що жоден спосіб спостереження не може доставити абсолютно точних відомостей про значення координат системи. Це пояснюється тим, що будь-якому виміру властива певна кінцева розв'язна здатність.

У загальному виді, якщо стан системи представляється вектором, складові якого x_1, x_2, ..., x_n, можуть незалежно друг від друга ухвалювати r_1, r_2, ..., rn значенні відповідно, те число всіляких наборів цих значень, що входять у безліч станів системи, буде рівно N = $r_1 \cdot r_2 \cdot ... \cdot$ rn.

Стан системи в певний момент часу називається подією. Подією називається кожна фиксируемая спостереженням кількісна або якісна визначеність динамічної системи або її стану. Розрізняють прості й складні події, (*x*, *t*) являє собою безліч можливих подій для кожного моменту часу.

Кожному стану системи, події, можна ставити у відповідність певне значення якої-небудь фізичної величини. За допомогою цієї величини можна здійснювати передачу відомостей від одного об'єкта до іншого. Фізичний процес, що представляє собою матеріальне втілення повідомлення про події, називається сигналом. Сигнал як фізичний носій інформації виникає тільки на основі зміни стану системи, тобто виниклого події; він має самостійну фізичну сутність і існує незалежно від утримування происшедшего події, і завжди пов'язаний з яким-небудь матеріальним об'єктом або матеріальним процесом. Сигнал може існувати тривалий час, мати безперервну або дискретну характеристику й бути статичним або динамічним. За допомогою сигналів здійснюються інформаційні зв'язки, що циркулюють у кібернетичних системах. Сигнали можна передавати на відстань, підтримуючи зв'язок між роз'єднаними в просторі об'єктами. Сигнали можна запам'ятовувати й передавати їх у часі. Це дозволяє зв'язувати між собою об'єкти, розділені в часі.

Система або середовище, у якім здійснюється передача сигналу, називається каналом зв'язку, інформаційним каналом півдня каналом передачі повідомлень. У загальному виді абстрактну схему системи зв'язки можна зобразити в такий спосіб (мал. 1).

Малюнок 1. Схема системи зв'язки

Ця схема функціонує в такий спосіб: джерело інформації (відправник) має деяку безліч різних і різнозначних для одержувача відомостей, сукупність яких називається повідомленням. Передача повідомлення означає вибір певного символу або певних символів з безлічі можливих символів або алфавіту відправника й перетворення цих символів за допомогою передавача в передані сигнали.

Елементами алфавіту можуть бути дискретні символи — букви, цифри, абетка Морзе, або безперервні символи — висота тону, амплітуда коливання. Передавальні сигнали по комунікаційному ланцюгу переміщаються із шумом, що викликають викривлення повідомлень. На стороні приймача є алфавіт фізичних символів, з яких на основі отриманих фізичних сигналів відновлюється отримане повідомлення. Отримані сигнали можуть бути перекручені аддитивными перешкодами, тобто шумом. Одержувана інформація завжди відносна, тому що вона залежить від відмінності між непевністю, що ухвалює перед прийманням і після приймання.

Сигнали, у яких утримується інформація, можуть бути представлені в дискретній і в безперервній формі. Дискретні сигнали можуть ухвалювати лише певну кінцеву кількість значень. Безперервний сигнал може ухвалювати незліченну безліч значень, які можуть відрізнятися один від іншого як завгодно малими збільшеннями.

Кожному стану системи x відповідає певне повідомлення x_C. Безлічі можливих подій відповідає безліч повідомлень, переданих за допомогою сигналів. Формування повідомлення слід розглядати як перетворення системи $x = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$ у x_C — одне з безлічі можливих станів $x_C = \{x_C^1, x_C^2, ..., x_C^n\}$. Це перетворення відбувається за допомогою деякого оператора P:

$x_C^i = P(xi)$.

Оператор P перетворення якого-небудь операнда в його образ-повідомлення називається кодом. Це комплекс правил, згідно з якими інформації надається певний сигнал. Сама операція перетворення за допомогою коду називається кодуванням. У вузькому змісті слова під кодуванням розуміють присвоєння кодового позначення об'єкту або всяку операцію зіставлення безлічі повідомлень одного джерела безлічі повідомлень іншого джерела, згідно з певною системою правил.

У якості операнда може розглядатися не тільки стан системи x або подія (x, t), але й повідомлення x_C^i. У цьому випадку має місце перекодування. Операція перекодування часто буває необхідна у випадках таємності. При цьому повідомлення, закодоване одним

способом, перетвориться в повідомлення x_C^i, закодоване іншим способом. У комунікаційному ланцюзі можливо багаторазове перекодування. Таке перетворення повідомлень можна представити як послідовний вплив на стан системи x операторів P_1, P_2,..., Pі за схемою:
$x_C^1 = P_1\, x$, $x_C^2 = P_2\, xc^1$, …, $x_C^l = Pl\, xc^{(l-1)}$.

4.5 КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ І ЙОГО ПРОБЛЕМИ

Економічність передачі повідомлення залежить від правильності його кодування, тобто від раціональної системи кодування. Кодування сигналу по суті означає порівняння символів одного алфавіту із символами іншого алфавіту. При цьому код являє собою комплекс правил порівняння символів. Оскільки при кодуванні рівняються символи двох алфавітів, то при цьому може змінитися кількість символів і їх імовірнісний розподіл. У чинність цього змінюється й ентропія повідомлення. Завдання укладається в тому, щоб знайти найбільш економічний для даної передачі код. Найбільш економічним є код, який вимагає мінімального числа символів і мінімального часу на передачу. Гарний код повинен зберегти все потрібне в повідомленні й виключити непотрібне.

Більшість кодів мають надмірність. Це значить, що при передачі повідомлень навмисне не використовуються всі можливості коду.

Надмірність — ця властивість мов, кодів і знакових систем, що полягає в тому, що повідомлення містить більше сигналів, чому фактично потрібно для передачі інформації: ця властивість поліпшує зв'язок в умовах перешкод. Найпростішою формою надмірності є дублювання.

Наявність надмірності в сигналі рівносильне його подовженню. Однак уважати надмірність винятково негативним явищем не можна, тому що чим більше надмірність повідомлення, тем менше воно піддане викривленню за рахунок дії перешкод. Знаходження оптимальної надмірності коду при даному рівні перешкод — одна з головних завдань теорії інформації.

Однієї з основних проблем при передачі інформації з каналу зв'язку з обмеженою пропускною здатністю є максимальне збільшення фактичної швидкості передачі повідомлень, яка залежить не тільки від параметрів технічних устроїв, але й від прийнятої системи кодування. Вибором ефективного способу кодування й декодування для кожного конкретного каналу зв'язку можна добитися найкращого використання його пропускної здатності.

Найбільше поширення одержали двійкові коди, що володіють істотною перевагою. Наявність усього двох символів дозволяє просто й надійно представляти числа у вигляді імпульсів струму або напруги. Більшість цифрових обчислювальних систем призначає для обробки дискретної інформації, закодованої у двійковій системі числення. Коди, у яких повідомлення представлені комбінаціями з нерівною кількістю символів, називаються нерівномірними або некомплектними. Коди, у яких повідомлення представлені комбінаціями з рівною кількістю символів, називаються рівномірними, або комплектними.

Очевидно, що при використанні рівномірного коду на відміну від нерівномірного не потрібно спеціального знака, що відокремлює одну букву від іншої. Для однозначного декодування прийнятих повідомлень, а також для передачі більших обсягів інформації при менших тимчасових і матеріальних витратах коди повинні задовольняти наступним вимогам:

різні символи переданого повідомлення повинні мати різні коди;

код повинен бути побудований так, щоб можна було чітко відокремити початок і кінець букв алфавіту, з якого складено повідомлення;

код повинен бути максимально коротким — чому менше число елементарних символів потрібно для передачі даного повідомлення, тем ближче швидкість передачі інформації до пропускної здатності даного каналу.

Перша вимога очевидно, тому що при однакових кодових позначеннях різних букв повідомлення не можна буде однозначно декодувати.

Друга вимога може бути задоволене в такий спосіб: уведенням у код додатково розділового символу-паузи, що значно подовжує час передачі повідомлення; створенням коду, у якім кінець однієї букви не може бути початком іншої; або застосуванням рівномірного коду. Щодо цього рівномірні коди мають перевагу, разом з тим вони мають істотний недолік — незалежно від імовірності появи окремих букв повідомлення вони закодовані послідовностями символів однакової довжини. Такий код може бути оптимальним з погляду витрат часу на передачу тільки у випадку, якщо всі букви повідомлення равновероятны й незалежні.

Третя, основна вимога до код забезпечує найбільшу швидкість передачі інформації з каналу зв'язку за допомогою можливого скорочення кодів. Довжину послідовності символів, що кодують кожне повідомлення, назвемо довжиною кодового слова.

Основні властивості оптимальних кодів:

1. Мінімальна середня довжина кодового слова оптимального коду забезпечується в тому випадку, коли надмірність кожного слова зведена до мінімуму (у граничному випадку — до нуля).
2. Алфавіт оптимального коду повинен будуватися з равновероятных і незалежних символів.

Із властивостей оптимальних кодів випливають принципи оптимального кодування: вибір чергового символу в кодовім слові необхідно провадити так, щоб кількість, що втримується в ньому, інформації було максимальним, і повідомленням, що мають більшу ймовірність появи, необхідно привласнювати більш короткі кодові слова.

Ці принципи визначають метод побудови оптимальних кодів, запропонований незалежно друг від друга Р. Фано й К. Шенноном. Тому відповідний код називається кодом Шеннона-Фано.

Побудова оптимального двійкового коду зводиться до наступної процедури:

1. Безліч із N повідомлень розташовують у порядку убування ймовірностей.
2. Безліч повідомлень розбивають на дві групи так, щоб сумарні ймовірності повідомлень обох груп були по можливості рівні.
3. Першій групі привласнюють символ 0, другій групі — символ 1.
4. Кожну із груп ділять на 2 підгрупи так, щоб їх сумарні ймовірності були по можливості рівні.
5. Першим підгрупам кожної із груп знову привласнюють 0, а другим — 1, у результаті чого виходять другі цифри коду. Потім кожну із чотирьох підгруп знову ділять на рівні (по сумарній імовірності) частини і т.д. доти, поки в кожній з підгруп залишиться по одній букві.

Очевидно, що для равновероятностных повідомлень оптимальний код буде рівномірним, тобто довжина кодового слова постійна.

Питання про відшукання практично зручних методів кодування для різних каналів зв'язку з перешкодами становить утримування теорії кодування, що є самостійним розділом теорії інформації.