

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий інститут «Кібепорт»

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій



НАДІЙНІСТЬ І ВІДМОВОСТІЙКІСТЬ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт

для здобувачів денної та заочної форм здобуття освіти першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти,

спеціальності

123 Комп'ютерна інженерія

Харків
2023

Міністерство освіти і науки України

ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий інститут «Кіберпорт»

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

НАДІЙНІСТЬ І ВІДМОВОСТІЙКІСТЬ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Методичні вказівки до виконання
практичних робіт

для здобувачів денної та заочної форм здобуття освіти першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальності

123 Комп'ютерна інженерія

Затверджено рішенням Науково-
технічної ради ННІ «Кіберпорт»
Протокол № 2 від 24.10.2023 р.

Харків

2023

УДК 510:621.9

Т 41

Схвалено на засіданні кафедри
автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Протокол № 1 від
31.08.2023 р.

Надійність і відмовостійкість комп'ютерних систем: метод. вказівки до виконання практ. робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заоч. форм здобуття освіти спец. 123 Комп'ютерна інженерія; Харків. Державний біотехнологічний університет ; уклад.: Ю.А.Нечитайло, – Харків : [б. в.], 2021.– 56 с.

Методичні вказівки включають 6 практичних робіт. Матеріал розкриває сутність розрахунку надійності й відмово стійкості комп'ютерних систем. Майбутні фахівці повинні володіти теорією надійності.

Видання призначене студентам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття освіти спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія.

Рецензенти:

О.Г. Гурко, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ);

М.А. Гринченко, канд. техн. наук, доц., завідувачка кафедри стратегічного управління Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (НТУ ХПІ).

Відповідальна за випуск (зав. каф.): К.В.Демченко, канд.техн. наук

© Нечитайло Ю.А., 2023

© ДБТУ, 2023

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	1
Практичне заняття №1.....	11
Практичне заняття №2.....	20
Практичне заняття №3.....	34
Практичне заняття №4.....	38
Практичне заняття №5.....	42
Практичне заняття №6.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51

ВСТУП

Користувача комп'ютерної техніки цікавить тільки отримання правильних результатів обчислень за заданий час. Для досягнення цієї мети необхідно, щоб всі названі складові володіли необхідною надійністю.

Інформаційна система - це складна людино-машинна система, що включає до свого складу ергатичні ланки, технічні засоби і програмне забезпечення.

Комп'ютерна система - інформаційно-технічний комплекс, метою якого є обробка, збереження, ввід-вивід інформації. До складу комп'ютерної системи входять комп'ютери, принтери, сервери тощо із програмним забезпеченням.

Використання сучасних комп'ютерів і комп'ютерних систем (КС) може мати місце за умови їх досить надійної роботи. Основними причинами, що визначають підвищену увагу до проблем надійності:

- зростання складності апаратури і поява складних високопродуктивних комп'ютерних систем КС;
- повільне зростання рівня надійності комплектуючих елементів;
- збільшення важливості виконуваної апаратурою функцій;
- ускладнення умов експлуатації та ін.

Через комп'ютерну мережу за допомогою локальної або глобальної системи передачі даних здійснюється обмін інформацією. При описуванні систем використовують технічні, організаційні, документальні, функціональні, алгоритмічні, програмні та інформаційні структури. Задачі, що розв'язуються в комп'ютерних інформаційних системах, мають ряд характерних особливостей, що впливають на технологію автоматизованої обробки даних. Комп'ютерна система має можливість інтегрувати з іншими інженерними технологіями, розширювати можливості й створювати єдине середовище для керування завдяки різноманіттю і уніфікації комп'ютерного устаткування.

Надійність комп'ютерів і КС визначається, з одного боку, відсутністю відмов, збоїв і помилок в роботі пристроїв, з іншого можливістю відновлення апаратури та обчислювального процесу.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Основні завдання теорії надійності:

- встановлення видів кількісних показників надійності;
- вироблення методів аналітичної оцінки надійності;
- розробка методів оцінки надійності за результатами випробувань;
- оптимізація надійності на стадіях розробки та експлуатації та ін.

Основа наукового аналізу надійності сучасних складних систем:

- математичні моделі;
- комп'ютерні технології.

Завдання наукового аналізу надійності:

- здійснювати розрахунки значень необхідних показників;
- вирішувати завдання оптимізації, синтезу, вироблення та обґрунтування управлінських рішень.

Від забезпечення можливості досить точно та оперативно вирішувати зазначені завдання безпосередньо залежить:

- економічність;
- ресурсозбереження;
- конкурентоспроможність сучасного виробництва.

Надійність КС визначається:

- надійністю її елементів і апаратури,
- надійністю програмного забезпечення,
- керуючого виконанням обчислювального процесу,
- використанням засобів контролю і відновлення системи.

Основними завданнями теорії надійності є:

- методи аналізу надійності елементів і систем;

- встановлення видів кількісних показників надійності;
- вироблення методів аналітичної оцінки надійності;
- розробка методів оцінки надійності за результатами випробувань;
- оптимізація надійності на стадіях розробки та експлуатації.

При визначенні основних термінів і понять у галузі надійності (наприклад, відмова, відновлення, саме поняття надійності та ін) будемо слідувати нормативно-технічними документами системі державних стандартів «Надійність в техніці», описувана ГОСТ.24.701-86.

Основним поняттям в теорії надійності є поняття системи.

Система - сукупність елементів, взаємодіючих між собою в процесі виконання заданих функцій. (Наприклад, КС, обчислювальний комплекс, автоматична система управління рухом космічного корабля, судна, мікропроцесорна система та ін.)

Об'єкти, що утворюють системи, являють собою елементи системи. Елемент системи - частина системи, яка має самостійну характеристику надійності, використовувану при розрахунках, і виконує певну функцію в інтересах системи. (Наприклад, ЗП – елемент КС, міні-мікро ЕОМ - обчислювального комплексу, виконавчий механізм - рульового приводу і т.д.) Кожен з цих елементів можна розглядати в якості системи, що складається з більш дрібних елементів.

Елементи та системи можуть знаходитися в двох станах:

Працездатний стан системи (елементу), при якому вони здатні виконати задані функції, зберігаючи значення заданих параметрів в межах встановлених нормативно-технічною документацією (НТД).

Непрацездатний стан системи, при якому значення хоча б одного параметра, що характеризує здатність виконувати задані функції, не знаходиться в межах, встановлених нормативно-технічною документацією.

Подія, що полягає в порушенні працездатності системи, тобто в переході її із працездатного в непрацездатний стан, називається *відмовою*.

Відмови об'єктів можуть класифікуватися за багатьма ознаками, наприклад за характером виникнення, зовнішніми проявами, способам виявлення. Наведемо класифікацію відмов за основними ознаками (табл. 1).

Таблиця 1. Класифікація відмов за основними ознаками

Класифікаційна ознака		Значення класифікаційної ознаки	Вид відмови
1	Характер зміни параметрів об'єкта до виникнення відмов	Стрибокподібна зміна одного або декількох параметрів	Раптова відмова
		Поступова зміна одного або декількох параметрів	Поступова відмова
2	Взаємозв'язок відмов	Відмова елемента об'єкта, не обумовлена відмовами інших елементів об'єкта	Незалежна відмова елемента
		Відмова елемента об'єкта, обумовлена відмовами інших елементів об'єкта	Залежна відмова елемента
3	Походження відмов	Порушення норм і методів конструювання	Конструкційна відмова
		Порушення процесу виготовлення, ремонту, технології	Виробнича відмова
		Порушення умови експлуатації об'єкта	Експлуатаційна відмова
4	Стійкість непрацездатного стану (характер впливу відмови)	Непрацездатність, що зберігається стійко	Стійка відмова
		Непрацездатність, що зберігається короткочасно, потім відновлюється	Відмова, що самоусувається (збій)
		Непрацездатність одного і того ж характеру, що виникає і самоусувається багаторазово	Відмова, що перемижується

При аналізі надійності конкретного об'єкта класифікація його відмов дозволяє виявити причини відмов і знайти шляхи підвищення надійності. Зазначимо, що в загальній масі відмов в обчислювальних машинах і мікропроцесорних системах переважають збої, тобто відмови, що самоусуваються.

Під збоєм логічного елемента КС розуміється непередбачувана зміна стану цього елемента, після якого працездатність самовідновлюється (без проведення ремонту). Збої призводять до короткочасного порушення працездатності, вони небезпечні для комп'ютерів, КС, будь-яких ІС, оскільки призводять до спотворення інформації та до неправильного функціонування системи.

Основні стандартизовані визначення показників надійності

Надійність - властивість об'єкта (КС) зберігати в часі у встановлених межах здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування.

Надійність є комплексною властивістю, вона включає в себе:

- безвідмовність,
- ремонтпридатність,
- збереженість.

Безвідмовність - властивість системи або елемента безупинно зберігати працездатний стан протягом деякого часу або деякого напрацювання.

Під напрацюванням розуміють обсяг роботи об'єкта (системи).

Збереженість - властивість системи безупинно зберігати справний, працездатний стан протягом усього часу зберігання.

Ремонтпридатність - властивість системи або елемента, яка полягає у пристосуванні до попередження, виявлення та усунення причин виникнення відмов шляхом проведення ремонтів і технічного обслуговування.

Об'єкти діляться на *відновлювані* і *невідновлювані*, залежно від того, яке рішення має бути прийнято у разі відмови об'єкта.

Таким чином, можна бачити, що поняття надійності є фундаментальним поняттям, яке охоплює всі сторони технічної експлуатації елементів і систем. У свою чергу, надійність є складовою частиною більш широкого поняття - ефективності.

Під ефективністю розуміється властивість системи (елементу) виконувати задані функції з необхідною якістю.

Засоби підвищення надійності ІС

В даний час, можна виділити кілька основних напрямів робіт з підвищення надійності ІС і мікропроцесорних систем.

1. У першу чергу, надійність ІС досягається за рахунок використання в ній високонадійних елементів. Це досягається застосуванням в пристроях ІС інтегральних схем з високим ступенем інтеграції (інтенсивність відмов в ІС 10^{-6} - 10^{-8} 1 / ч), використанням оптичних елементів, а також впровадженням нових типів друкованих плат, контактних з'єднань, нових технологій ІС і т.д .

2. Другим напрямком підвищення надійності є забезпечення *оптимальних режимів* роботи елементів. Велике значення при цьому має вибір коефіцієнта навантаження по тепловому, механічному й радіаційному режимам. Режими залежать від конструкції пристроїв, від прийнятих технічних рішень, які необхідно враховувати в процесі проектування.

3. Ефективним засобом підвищення надійності технічних систем є введення надмірності або резервування. *Резервування* - застосування додаткових засобів і можливостей з метою збереження працездатного стану об'єкта при відмові одного або декількох його елементів. У комп'ютерах, КС використовуються різні види резервування: структурне, тимчасове, функціональне, інформаційне та програмне.

4. Ефективним методом підвищення надійності є *відновлення* пристроїв, що відмовили. Тут необхідно вирішити завдання, пов'язані з виявленням відмови і з пошуком елементів, що відмовили. Ефективність діагностування підвищується при використанні автоматизованих систем контролю.

Одним із засобів підвищення надійності є зменшення часу відновлення. Час відновлення скорочується за рахунок забезпечення доступності всіх вузлів пристрою для огляду, тобто визначається ремонтпридатність конструкцій, що розробляються. В даний час широко використовується модульно-блоковий принцип побудови пристроїв, при яких заміна елементів, що відмовили, здійснюється шляхом заміни цілих блоків. Зняті блоки вже поза виробом

підлягають відновленню на спеціальних стендах з використанням контрольно-вимірювальних приладів.

5. Для підвищення надійності комп'ютерів, КС, ІС необхідно забезпечити надійність програмного забезпечення. Надійність програмного забезпечення може бути збільшена за рахунок програмного резервування та використання засобів автоматичного контролю за правильністю виконання обчислювального процесу. Наявність системи автоматичного контролю сприяє збільшенню готовності й можливості обслуговувати ІС.

6. Одним з перспективних шляхів досягнення високих показників надійності ІС є їх побудова на базі використання *засобів самоперевірки функціонального діагностування*, створення пристроїв *самоперевірки* і відмовостійких систем.

З усіх перерахованих особливо можна відзначити проблему контролю та діагностування.

Аналіз надійності елементів ІС показує, що приблизно 40-45% всіх відмов виникає через помилок на етапі проектування, 20% від помилок, допущених при виробництві, 30% від неправильної експлуатації і 5-10% від природного зносу і старіння.

Розглянемо основні методи забезпечення надійності на етапах життєвого циклу ІС, які можуть бути включені в програми по забезпеченню надійності.

Етап складання технічного завдання. На цьому етапі необхідно зібрати всі наявні дані про системи, аналогічні або близькі до реалізованих, а також дані про умови застосування технічних систем і вимоги, пропоновані до них (функції, виконувані розглянутою системою).

Етап ескізного проектування. На етапі ескізного проектування вибирається елементна база, структура та організація розроблюваної системи. Проводиться попередній розрахунок надійності, приймається рішення про резервування найменш надійних підсистем, а також рішення про способи та організації технічного обслуговування (профілактичних і ремонтних робіт). Досліджується питання про доцільність та способи реалізації методів автоматичного відновлення та відмовостійкості в системі.

Етапи технічного й робочого проектування. На цих етапах перевіряються і уточнюються раніше прийняті технічні рішення. Основою для цього служать дані про надійність, отримані на підставі розрахунків і результати експериментів над моделями, макетами, дослідними й промисловими зразками.

Розробляється програмне забезпечення системи й проводиться її перевірка по тестах (шляхом імітаційного моделювання на моделі розробляється ТЗ).

Етап виробництва. Тут основним є технічний контроль, що охоплює всі стадії виробничого процесу (вхідний контроль якості комплектуючих виробів, відповідності тих. Документацію друкованих плат, блоків, пристроїв, схемних з'єднань тощо) та усунення недоліків у розробці системи.

Етап експлуатації. На цьому етапі важливими є контроль і забезпечення умов навколишнього середовища, кваліфікація і склад обслуговуючого персоналу, організація і проведення технічного обслуговування та ремонтів у передбаченому порядку.

У період експлуатації триває збір відомостей про відмови апаратури і програмного забезпечення. Ці відомості передаються розробникам з метою усунення причин відмов і уточнення вихідних даних для розрахунку надійності.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1

Тема: ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕОРІЇ ЙМОВІРНОСТЕЙ

Мета: Повторення основних понять, визначень та теорем теорії ймовірностей

Теоретичні відомості

Основні поняття та визначення теорії ймовірностей

Основна мета даного розділу – повторення деяких головних понять та визначень теорії ймовірностей (ТЙ), що використовуються при вивченні теорії інформації.

Поняття та визначення теорії ймовірностей

Події – всі можливі явища: природи, суспільства, науки, техніки та ін.

Ситуація, при якій подія може настати, називається **випробуванням**.

Події поділяються наступним чином:

1. Випадкові. Це такі події, які у результаті випробувань можуть статися або ні.

2. Вірогідні. Це такі події, які обов'язково відбудуться в результаті випробувань. Позначаються літерою E .

3. Неможливі. Це такі події, які в результаті випробувань ніколи не відбудуться. Позначаються літерою V .

Приклад 1

При підкиданні однієї монети можливі такі події:

A_1 – випав герб;

A_2 – випала цифра;

A_3 – не випав ні герб, ні цифра;

A_4 – одноразово випали герб та цифра;

A_5 – випав герб або цифра.

В цьому випадку події: A_1, A_2 – випадкові; A_3, A_4 – неможливі (V); A_5 – вірогідна (E).

Приклад 2

Випробування складається у підкиданні шестигранного грального куба з цифрами 1, 2, 3, 4, 5 та 6 на його гранях. Розглянемо деякі можливі при цьому події:

- поява наступної кількості очок: 1 – подія A_1 ; 2 – A_2 ; 3 – A_3 ; 4 – A_4 ; 5 – A_5 , 6 – A_6 ;

- поява на гранях значень простих чисел A_{np} ;

- поява на гранях значень парних чисел A_n ;

- поява на гранях значень непарних чисел A_n ;

- поява на гранях числа очок, що діляться на три A_{03} ;

- поява на гранях числа очок, що діляться на шість A_{06} .

Дві події називають несумісними, якщо в результаті випробування вони одночасно не можуть відбутися (для приклада 2 – це події A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 та A_6).

Події називають сумісними, якщо при випробуванні вони можуть одночасно настати (для приклада 2 – це події A_{03} та A_{06}).

Подія \bar{A} називається протилежною події A , якщо вона полягає в тому, що подія A не відбулася (для приклада 2 – це події A_n та A_n).

Видно, що подія A та її протилежна подія \bar{A} - несумісні.

Події A_i ($i = \overline{1, n}$) утворюють повну групу подій, якщо при випробуванні одна з них обов'язково відбудеться (для приклада 2 – це події A_i ($i = \overline{1, 6}$),

Події бувають елементарні та складні. Елементарна подія – яка при випробуванні обов'язково відбудеться. Складна подія – це подія, яку можливо представити через сукупність

елементарних подій. Для приклада 2:

- елементарні події це $A_1 \dots A_6$;
- складна подія, наприклад, $A_7 = A_2 \vee A_4 \vee A_6$.

Елементарні події називають рівноможливими при умові однаковості шансів їх появи при випробуванні. Для приклада 2:

- події A_3 та A_5 є рівноможливі;
- події A_6 та \bar{A}_6 (не поява на грані куба шести очок) не рівноможливі, так як шість очок (подія A_6) на грані куба мають шанс з'явитися значно менше, ніж шанс не з'явитися (\bar{A}_6).

Дано визначення ймовірності $P(A)$ появи події A – одному з основних понять ТЙ. Ступінь можливості появи події в майбутньому випробуванні звать ймовірністю цієї події і позначають як $P(A)$. Ймовірність $P(A)$ є чисельна міра можливості появи даної події у даному випробуванні і взагалішому випадку визнається як відношення числа m елементарних подій, що сприяють появі події A , до загального числа n елементарних подій, що виникли в результаті випробування, тобто

$$P(A) = \frac{m}{n} \quad (1)$$

Формула (1) є класичне визначення ймовірності випадкової події (статистична ймовірність, апріорна ймовірність або частота появи події A). В цьому випадку $0 \leq P(A) \leq 1$.

Користуючись визначенням ймовірності (1) для двох протилежних подій A та \bar{A} можна записати $P(A) + P(\bar{A}) = 1$, а для повної групи подій - $\sum_{i=1}^n P(A_i) = 1$ (для приклада 2- $\sum_{i=1}^6 P(A_i) = 1$)

Приклад 3

З урни, яка містить 6 білих та 4 чорних куль, навмання взяли одну з цих куль.

Знайти ймовірність $P(A)$ події A того, що витягнута куля буде білою $P(A_b)$ (чорною $P(A_c)$).

Розв'язання

Для нашого випадку $n = 6 + 4 = 10$.

Згідно з формулою (1) для білої кулі маємо

$$(m = 6) - P(A_b) = \frac{m}{n} = \frac{6}{10} = \frac{3}{5},$$

а для чорної кулі

$$(m = 4) - P(A_c) = \frac{m}{n} = \frac{4}{10} = \frac{2}{5}.$$

Відзначимо, що подія A_b та A_c - несумісні, тобто

$$P(A_b) + P(A_c) = 1.$$

Приклад 4

З урни, яка містить 6 білих та 4 чорних куль, навмання одноразово беруть 2 кулі. Знайти ймовірність $P(A)$ того, що обидві кулі будуть білі.

Розв'язання

$$P(A+B+D) = P(A) + P(B) + P(D) - P(AB) - P(AC) - P(BC) + P(ABC).$$

Ймовірність добутку незалежних Для нашого випадку загальна кількість варіантів подій витягнення одноразово двох куль дорівнює $n = C_{10}^2 = \frac{10!}{2!8!} = 45$, а кількість сприятливих подій витягнення одноразово двох білих куль дорівнює $m = C_8^2 = \frac{8!}{2!4!} = 15$. Згідно з формулою (1) маємо

$$P(A) = \frac{m}{n} = \frac{15}{45} = \frac{1}{3}.$$

Приклад 5

З урни, яка містить 6 білих та 4 чорних куль, навмання одноразово беруть 5 куль.

Яка ймовірність того, що серед 5 навмання взятих куль буде знаходитися 3 білі та 2 чорні кулі?

Розв'язання

Загальна кількість варіантів, подій вибору п'яти куль буде дорівнювати

$$n = C_{10}^5 = \frac{10!}{5!5!} = 2 \cdot 3 \cdot 7 \cdot 6, \text{ а } m = C_6^3 \cdot C_4^2 = 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2.$$

по формулі (1) маємо

$$P(A) = \frac{m}{n} = \frac{5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2}{7 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 3} = \frac{10}{21}$$

Відзначимо, що формула (1) для знаходження чисельного значення ймовірності випадкової величини A застосовується у випадку, коли події $\{A_i\}$ мають такі властивості: рівноможливі, несумісні та складають повну групу подій.

Властивості ймовірності

$P(A)$ випадкової події A

1. $0 \leq P(A) \leq 1$.

2. Ймовірність вірогідної події E дорівнює

$$P(E) = 1 - P(\bar{E})$$

3. Ймовірність неможливої події

$$P(V) = 0 \quad (m = 0).$$

Приведемо декілька важливих теорем для визначення ймовірностей суми та добутку подій.

Ймовірність суми несумісних подій.

$$P(A + B + D) = P(A) + P(B) + P(D).$$

Ймовірність суми сумісних подій
подій

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B);$$

$$P(ABC) = P(A) \cdot P(B) \cdot P(C).$$

Ймовірність добутку двох залежних подій

$$P(AB) = P(A) \cdot P_A(B) = P(B) \cdot P_B(A),$$

де: $P_A(B) = P(B/A)$ – ймовірність події В при умові, що подія А відбулась;

$P_B(A) = P(A/B)$ - ймовірність події А при умові, що подія В відбулась.

Формула повної ймовірності

Нехай подія А може настати при умові появи однієї із попарно несумісних подій (гіпотез) $H_i, i = \overline{1, n}$, що утворюють повну групу подій ($\sum_{i=1}^n P(H_i) = 1$). Відомі значення $P(A/H_i), i = \overline{1, n}$, події А.

Треба знайти безумовну ймовірність $P(A)$ події А.

Для цього випадку (без доведення) маємо

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(H_i) \cdot P(A/H_i). \quad (2)$$

Формула Байєса (формула гіпотез)

Нехай маємо повну групу попарно несумісних подій (гіпотез) $H_i, i = \overline{1, n}$.

Ймовірність $P(H_i)$ гіпотез відома до випробування (апріорно). Проводимо випробування, в результаті якого відбулась подія А.

Треба знайти умовні ймовірності $P(H_i/A)$ гіпотез після випробування (апостеріорні ймовірності).

Звісна тотожність

$$P(A) \cdot P(H_i/A) = P(H_i) \cdot P(A/H_i)$$

Відкіля маємо, що

$$P(H_i/A) = \frac{P(H_i) \cdot P(A/H_i)}{P(A)},$$

або з урахуванням (2) маємо

$$P(H_i/A) = \frac{P(H_i) \cdot P(A/H_i)}{\sum_{i=1}^n P(H_i) \cdot P(A/H_i)}. \quad (3)$$

Завдання:

1. Повторити розділи теорії ймовірностей: «Основні поняття теорії ймовірностей» та «Основні теореми теорії ймовірностей».
2. Виконати контрольне завдання за вказівкою викладача.

Контрольні питання:

1. Дайте визначення поняттям: подія, ситуація та випробування; випадкова, достовірна (вірогідна) та неможлива події; сумісні, несумісні та протилежні події; елементарні та складні події; рівноможливі події.
2. Дайте визначення ймовірності випадкової події. Привести формулу для визначення випадкової події А у залежності від загального числа п елементарних подій та числа m елементарних подій, які сприяють появі події А.
3. Визначити властивості ймовірності випадкової події.
4. Сформулювати теореми додавання ймовірностей для сумісних та несумісних подій.
5. Сформулювати теореми множення ймовірностей для залежних та незалежних подій.
6. Привести та пояснити формулу повної ймовірності.
7. Привести та пояснити формулу Байєса (ймовірність гіпотез).

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ

1. Нехай в урні знаходиться 7 білих та 6 чорних куль. Навмання одночасно беруть 4 куль. Яка ймовірність $P(A)$ того, що серед 4 навмання взятих куль 3 є білими?

2. Із 20 студентів, серед яких 3 дівчинки, на захід без вибору запрошують чотирьох студентів. Яка вірогідність, того що серед запрошених буде одна дівчинка?

3. Студент отримує залік за умовою, що одержує оцінку не нижче 3.

Яка ймовірність $P(A)$ здати залік, якщо відомо, що студент може одержати оцінки: 5 (подія A_1), 4 (подія A_2) та 3 (подія A_3) з ймовірностями відповідно $P(A_1) = 0,2$; $P(A_2) = 0,3$ та $P(A_3) = 0,4$?

4. Нехай система складається з трьох агрегатів. Перший та другий агрегати дубльовані, тобто при відмові одного з них починає робити другий. Відмова системи настає тоді, коли одноразово відмовили перший та другий агрегати, або відмовив третій агрегат.

Визначити ймовірність $P(B)$ відмови всієї системи, коли ймовірність відмов першого, другого та третього агрегатів відповідно дорівнює $P(A_1) = 0,1$, $P(A_2) = 0,2$ та $P(A_3) = 0,3$,

де: A_1 - подія відмови першого агрегату, A_2 – подія відмови другого агрегату, A_3 - подія відмови третього агрегату, а B - подія відмови всієї системи.

5. Нехай система складається з двох агрегатів. Перший та другий агрегати дубльовані, тобто при відмові одного з них починає робити другий. Відмова системи настає тоді, коли одноразово відмовили перший або другий агрегат.

Визначити ймовірність $P(B)$ відмови всієї системи, коли ймовірність відмов першого та другого агрегатів відповідно дорівнює $P(A_1) = 0,1$ та $P(A_2) = 0,2$

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 2

Тема: ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕОРІЇ ІНФОРМАЦІЇ.

Мета: Засвоєння основних понять, визначень і термінології теорії інформації, а також одержання навичок їхнього практичного застосування для опису та дослідження інформаційних систем сільськогосподарського призначення.

Завдання:

1. Повторити теоретичний матеріал.
2. Вивчити загальну структуру інформаційної системи (ІС). Описати її в термінах теорії інформації.
3. Представити схеми обертання та передачі інформації у ІС. Описати їх в термінах теорії інформації.

Поняття та визначення теорії інформації

Найважливіше питання ТІ - оцінка кількості та якості інформації. Інформаційні міри відповідають трьом основним теоретичним напрямкам: структурному, статистичному та семантичному. Розглянемо кожен з цих напрямків окремо.

Структурна теорія - розглядає дискретну побудову масивів інформації та її вимір простим розрахунком елементарних інформаційних елементів (квантів) чи комбінаторним методом кодування масивів інформації. У структурній теорії розрізняють три види оцінки міри інформації: геометрична, комбінаторна та адитивна. Найбільше розповсюдження одержала двійкова адитивна міра, так звана міра Р. Хартлі, яка вимірює кількість інформації у двійкових одиницях, так званих бітах.

Статистична теорія - розглядає поняття ентропії як міру невизначеності, що у свою чергу визначає інформативність повідомлень на основі ймовірних характеристик. При цьому кількість інформації залежить від апріорних (до

дослідних) ймовірностей випадкових подій, функцій, величин та ін. (міра визначення інформації по К. Шенону).

Семантична теорія - визначає цінність, корисність або сутність інформації. Під семантикою розуміють смисл та зміст інформації. У загальному випадку семантика міститься у семіотиці (семіотика (греч.) - наука про знаки, слова та мови). Місце семантики у системі понять семіотики показано на рис. 1 (семантика (греч.) - вчення про знаки).

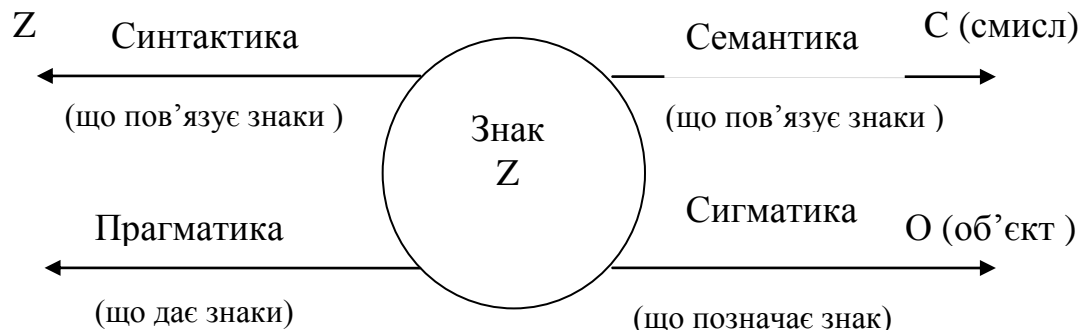


Рисунок 2.1 – Основні складові семіотики

У ТІ на семантичному рівні аналізуються відношення між знаками та позначеними ними предметами, діями та якістю, тобто аналізується смисловий зміст (змістовність) тексту по відношенню до ДП.

При інженерних розрахунках кількості інформації прагматичні оцінки співпадають з семантичними, оскільки відомості, що не мають індикація та реєстрація.

У подальшому під інформацією $J(X)$ у техніці будемо розуміти сукупність відомостей про будь які події, явища, процеси, об'єкти, системи та ін.

Теорія інформації – це наука, пов'язана з вивченням понять кількості інформації, її передачею, сприйняттям, обробкою (переробкою), представленням та зберіганням.

Інформація виникає тоді, коли встановлюються деякі загальні властивості конкретизованих речей та явищ природи, тому під поняттям "інформація" можна розуміти сутність, характеристику цих речей та явищ.

Термін "інформація" з латинського перекладається як повідомлення або обізнаність про будь-що. Існує багато визначень для поняття інформації (див. вступ), що відносяться до різних аспектів життєдіяльності людини. З цих понять та визначень можна зробити висновок, що під інформацією слід розуміти не самі дійсні речі та процеси, а їх суттєві характеристики. Тобто маються на увазі не самі речі та процеси, а тільки їх відбиття чи відображення у вигляді чисел, формул, опису, схем, креслень, символів та інших абстрактних (формалізованих) характеристик. Таким чином, інформація відноситься до області абстрактних категорій, однак, вона завжди виявляється у матеріально-енергетичній формі, тобто, у вигляді символів або сигналів.

Теорія інформації – це основа для рішення багатьох теоретичних проблем і практичних задач у галузі науки та техніки. Поняття інформації пов'язане з моделями дійсних речей, що відображають їх сутність у той мірі, в якій це необхідно для практичних цілей дослідження. Теоретична основа ТІ – це теорія ймовірностей.

З поняттям інформації пов'язано поняття повідомлення X . Повідомлення X – це форма представлення інформації. Повідомлення завжди представляється у матеріально - енергетичної формі, тобто у вигляді символів або сигналів (змінна фізична величина). Сигнал – технічний носій повідомлення. У техніці застосовуються такі види сигналів: У техніці застосовуються такі види сигналів:

- електричні;
- електромагнітні;
- акустичні
- світлові;
- механічні;
- звукові;
- оптичні та ін.

Загальна схема передачі інформації КЗ за допомогою різноманітних видів сигналів представлена на рис. 2

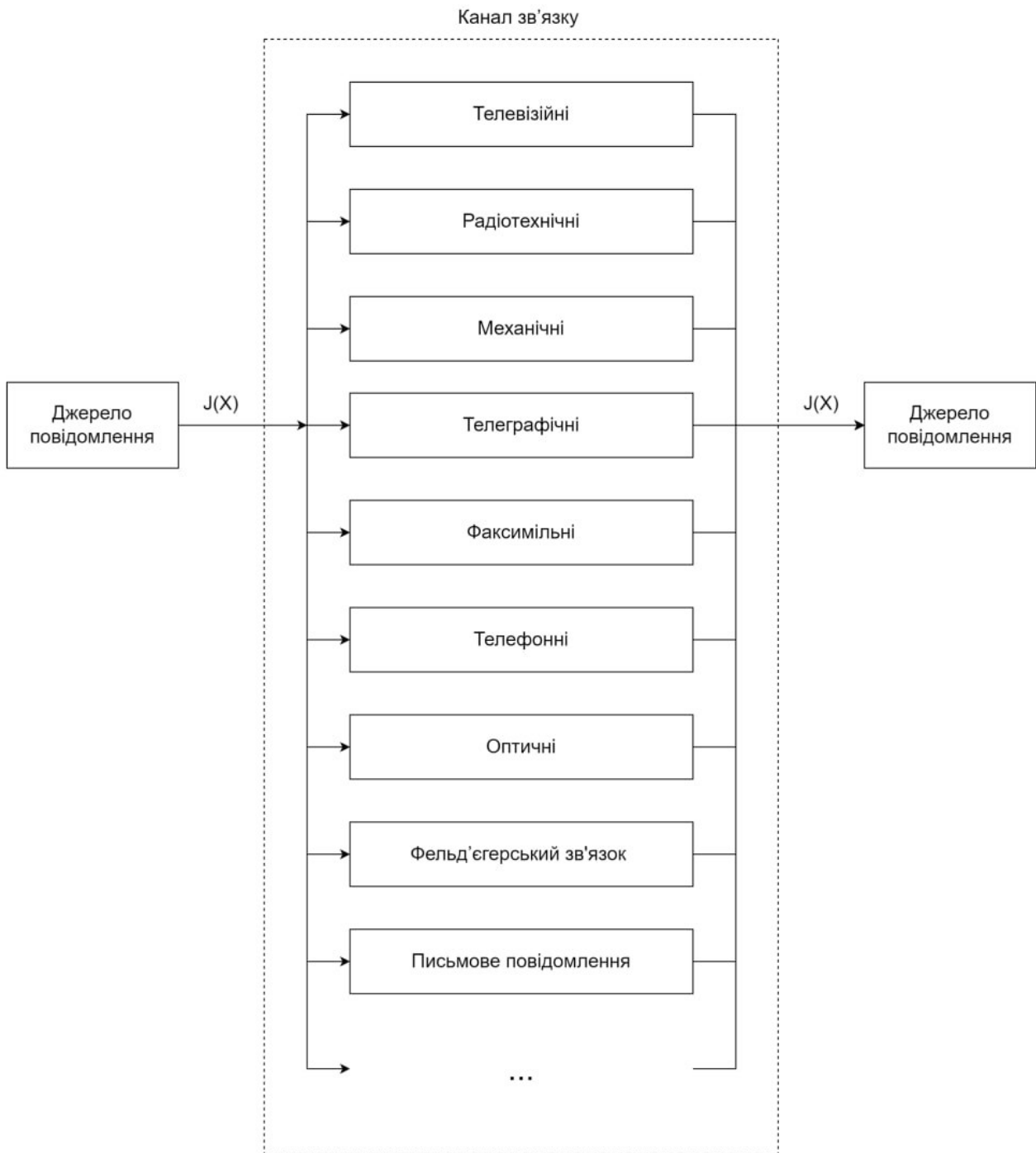


Рисунок 2.2 – Схема передачі інформації (повідомлення) за допомогою різних видів сигналів

Розглянемо загальну схему обертання інформації $J(X)$ що представлена на рисунку 2.3.

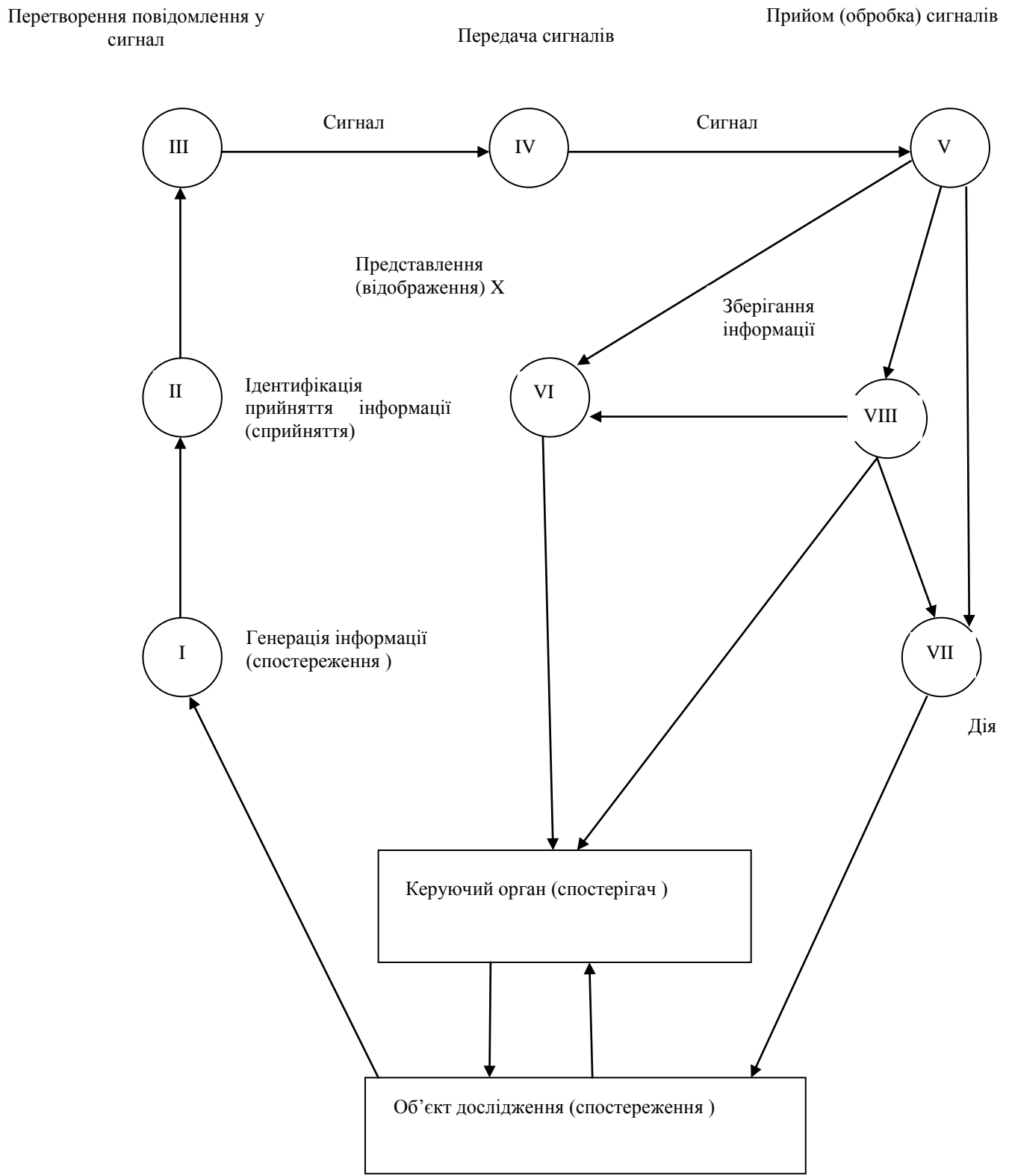


Рисунок 2.3 – Схема обертання інформації

У відповідності з рисунком 2.3 маємо:

I – отримання інформації $J(X)$ від об'єкту спостереження;

II – ідентифікація (побудова моделі об'єкта), тобто формується образ об'єкта, проводиться його розпізнання та оцінка;

III – проводиться комплекс різноманітних операцій для перетворення повідомлення X у сигнал та його передач каналом зв'язку;

IV – передача повідомлення (інформації) у виді сигналів каналом зв'язку;

V – прийом, обробка сигналів та представлення їх у виді повідомлень;

VI – відображення інформації (повідомлення);

VII - у відповідності з прийнятою інформацією проводиться (якщо необхідно) вплив (дія) на об'єкт спостереження;

VIII - зберігання (якщо потрібно) інформації.

Відповідно до схеми обернення інформації $J(X)$ розглянемо загальну структурну схему інформаційної системи (рисунок 2.4). Інформація $J(X)$ у виді повідомлення X з виходу джерела повідомлення за допомогою засобів кодування перетворюється у сигнал. Сигнал з виходу передатчика лінією зв'язку (рис. 2) поступає на вхід приймача. З виходу засобів декодування (які перетворюють сигнали у повідомлення), інформація у виді повідомлення поступає на вхід приймача повідомлення. Треба відзначити, що, по-перше, ДП та ПП може бути як людина, так і технічні засоби (засоби обчислювальної техніки); по-друге, як бачимо (рисунки 2.2, 2.3, 2.4), інформації не існує без її передачі.

Таким чином можна зробити висновок, що об'єктом дисципліни ТІ є всі процеси, явища, події, об'єкти, системи та ін., що зв'язано з поняттям інформації, а предмет дисципліни ТІ – системи, об'єкти та засоби обробки, представлення та зберігання інформації (див. вступ).

З визначенням інформації пов'язані наступні важливі поняття:

- кількість інформації;
- цінність інформації;
- вірогідність інформації;
- оперативність інформації;
- корисність інформації;
- ефективність використання інформації;

- об'єм інформації;
- ціль використання інформації;
- смисловий зміст інформації;

Найважливіше питання ТІ - це визначення кількісної міри оцінки інформації. Ця міра повинна визначатися наступним чином: по-перше, щоб вона відповідала інтуїтивним представленням про склад та поняття інформації, а по-друге, щоб вона була зручною при її розрахунку.

Природно рахувати, що інформації одержують більше тоді, коли подія заздалегідь не була визначена, або визначена з малим значенням ймовірності її появи. З другого боку, чим більш ймовірна подія, тим менше інформації одержує спостерігач від повідомлення про те, що вона збулась. Тобто, ми можемо зробити первинний висновок: кількість інформації у повідомленні залежить від ймовірності появи події, про яку говориться у цьому повідомленні.

За основу визначення кількості інформації (чи просто інформації) покладено ймовірнісні характеристики повідомлення, які відображають ступінь їх невизначеності (несподіваності) при появі їх у одержувача інформації (приймача повідомлення).

Приведемо приклад. Нехай у буфеті продають пиріжки. Заходить студент у буфет та очікує повідомлення продавця про наявність пиріжків різних видів з наступною ймовірністю (табл.1).

Таблиця 2.1-Таблиця ймовірностей очікування

X_i $i = \overline{1,4}$	Пиріжки			
	X_1	X_2	X_3	X_4
	Картопля	М'ясо	Вишня	Ананас
$P(X_i)$	0,4	0,4	0,19999	0,00001

Природно, чим менше ймовірність $P(X_i)$ повідомлення про наявність необхідних видів пиріжків, тим більше інформації $J(X_i)$ одержує студент від продавця про види існуючих пиріжків (більше несподіваність повідомлення).

Так у даному прикладі (табл. 1) найбільшу кількість інформації студент одержує у випадку 4, а найменшу – у випадках 1 та 2. Таким чином можна зробити висновок що кількість інформації $J(X_i)$ у повідомленні X_i обернено пропорційно ймовірності $P(X_i)$ появи цього повідомлення, тобто

$$J(x_i) \propto \frac{1}{P(x_i)}$$

У 1928 році американець Р. Хартлі запропонував аналітичну залежність для визначення кількості інформації у вигляді логарифмічного виразу виду

$$J(x_i) = \log_a \frac{1}{P(x_i)}, \quad (1)$$

де : $P(x_i)$ - ймовірність очікування повідомлення x_i , у нашому випадку, про наявність пиріжків i -го виду;

$J(x_i)$ - кількість інформації від продавця про наявність пиріжків i -го виду.

Елементи $\{x_i\}$ ($i = \overline{1,4}$) повідомлення X про наявність пиріжків різних видів складають повну групу подій (елементів повідомлення), тобто

$$\sum_{i=1}^4 P(x_i) = 1 \quad (\text{див. табл. 1})$$

Часто зустрічається адекватна запис виразу (1) кількості інформації у вигляді

$$J(x_i) = -\log_a P(x_i) \quad (2)$$

де у загальному випадку:

$P(x_i)$ – ймовірність появи i -го елементу x_i повідомлення $X \{x_i\}, i = \overline{1, m}$;

У принципі, для кількісної оцінки інформації можливо було використати довільну монотонну зменшуючу функцію ймовірності виду $J(x_i) = F \left[\frac{1}{P(x_i)} \right]$.

Але, як це буде показано нижче, логарифмічна міра оцінки кількості інформації найбільш повно відповідає вимогам, що пред'являються до неї.

Значення основи а логарифму у виразах (1) та (2) може бути довільне. Воно визначає лише систему одиниць вимірювання кількості інформації (масштаб). На сучасному етапу розвитку інформаційних систем користуються наступною системою одиниць вимірювання кількості інформації. Так при $a = 2$ в бітах; при $a = e \approx 2,7$ в нітах, а при $a = 10$ в дітах.

На практиці найчастіше за все кількість інформації $J(x_i)$ визначається в бітах ($a = 2$). Отже для двійкового ДП ($m = 2$)

кількість інформації, що передається одним символом (одним бітом), дорівнює $J(x_i) = -\log_2 P(x_i) = -\log_2 \frac{1}{2} = 1$ (біт), оскільки $P(x_i) = \frac{1}{2}$.

Поняття "біт" виникло від скорочення англійського виразу "binary digit" (двійкова цифра).

Таким чином один біт інформації – це така кількість інформації, що міститься в одній із двох рівноймовірних, незалежних та несумісних подій.

Властивості інформації

1. Інформація $J(x_i) = -\log_2 P(x_i)$ є величина невід'ємна, тобто

$$0 \leq J(x_i) \leq \infty.$$

Дійсно, при $P(x_i) = 1$ (відоме повідомлення) кількість інформації дорівнює

$$J(x_i) = 0 ,$$

а при

$$P(x_i) \rightarrow 0 , J(x_i) \rightarrow \infty \text{ (рис.2. 4).}$$

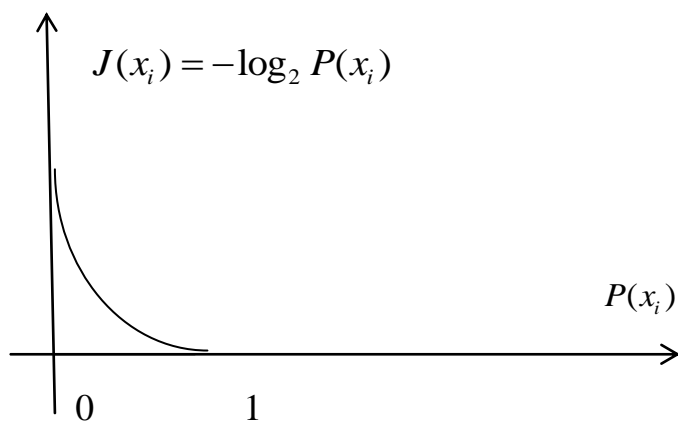


Рисунок 2.4 – Графік залежності $J(x_i) = -\log_2 P(x_i)$

2. Кількість інформації $J(x_i)$ від n незалежних ДП дорівнює сумі інформації $J(x_i)$ від кожного з даних джерел, тобто

$$J(X) = \sum_{i=1}^n J(x_i) \quad (3)$$

Покажемо це на прикладі двох ($n = 2$) незалежних ДП. Дійсно, $J(X) = J(x_1, x_2) = \log_2 \frac{1}{P(x_1, x_2)}$. Так, як події x_1 та x_2 незалежні, то $P(x_1, x_2) = P(x_1) \cdot P(x_2)$. У цьому разі

$$\begin{aligned} J(X) &= \log_2 \frac{1}{P(x_1, x_2)} = \log_2 \frac{1}{P(x_1) \cdot P(x_2)} = \\ &= \log_2 \left[\frac{1}{P(x_1)} \cdot \frac{1}{P(x_2)} \right] = \log_2 \frac{1}{P(x_1)} + \log_2 \frac{1}{P(x_2)} = \\ &= J(X_1) + J(X_2). \end{aligned}$$

Не складно показати, що для загального випадку, якщо маємо n незалежних ДП формула (3) також дійсна.

Необхідно визначити, що запроваджена логарифмічна міра оцінки кількості інформації (1), (2), (міра Р. Хартлі) не враховує такі властивості інформації, як цінність, важливість та корисність. Така відмова від урахування цих властивостей дала змогу створити математичний апарат для опису та дослідження інформаційних характеристик ІС, представлених у формалізованому вигляді. Однак, важливість та цінність інформації може бути врахована організаційним шляхом, наприклад, при організації процесу експлуатації ІС.

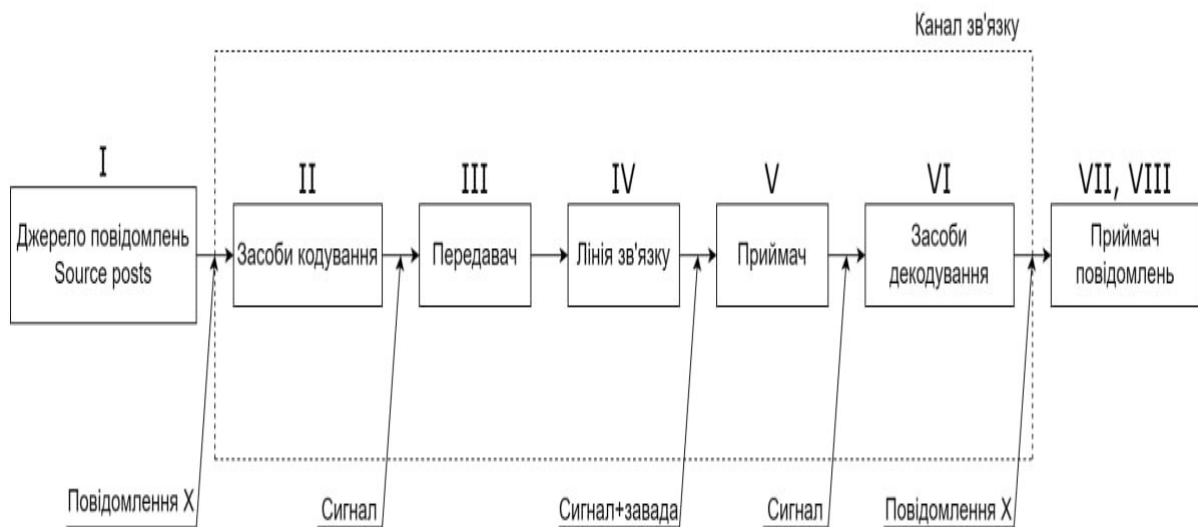


Рисунок 2.5 – Передача інформації

Контрольні питання:

1. Дайте визначення поняттям: ентропія, інформація, повідомлення, сигнал.
2. Перелічити та пояснити етапи (фази) обертання інформації.
3. Пояснити, у чому суть основних розходжень між поняттями ентропія та інформація.
4. Дати класифікацію повідомленням за формою їхнього представлення та передачі.
5. Привести можливу класифікацію інформаційних систем.
6. Пояснити, у чому суть проблеми передачі інформації на різних рівнях її представлення.
7. Представити та пояснити математичні моделі основних елементарних сигналів.
8. Пояснити суть часового представлення елементарних сигналів.
9. Пояснити суть частотного представлення елементарних сигналів.
10. Перелічити основні причини переходу від неперервного представлення сигналів до дискретного (цифрового).
- 11 Дайте визначення дисципліни “Теорія інформації”
- 12 Що є об’єктом та предметом дисципліни ТІ?
- 13 Дайте визначення поняттям: передача, зберігання, сприйняття, обробка, переробка та представлення інформації.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 3

Тема: КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ЕНТРОПІЇ ТА ІНФОРМАЦІЇ (МІРА Р. ХАРТЛІ).

Мета: Напрацювати навички кількісної оцінки ентропії та інформації.

Завдання:

1. Повторити теоретичний матеріал .
2. Відповідно до варіанту завдання розв'язати задачі.
- 3 Виконати аналіз отриманих результатів.

Завдання 1

Символи алфавіту мають m якісних ознак. Визначити максимальну кількість N повідомлень, що можна одержати для кодової комбінації з n елементів (розрядів).

Варіанти завдань представлені у таблиці

Вар.	m	n	Вар.	m	n	Вар.	m	n
1	1	100	10	5	2	19	9	2
2	2	1	11	1	10	20	10	1
3	3	2	12	2	2	21	1	10
4	4	3	13	3	3	22	2	3
5	5	4	14	4	4	23	3	2
6	1	5	15	5	2	24	4	3
7	2	2	16	6	3	25	5	3
8	3	3	17	7	2	26	1	8
9	4	4	18	8	3	27	2	5

Завдання 2

Символи алфавіту мають m якісних ознак. Визначити кількість інформації J в отриманому повідомленні за умов, що всі повідомлення рівно ймовірні. Варіанти завдань представлені у таблиці

Вар.	m	n	Вар.	m	n	Вар.	m	n
1	1	100	10	5	2	19	9	2
2	2	1	11	1	10	20	10	1
3	3	2	12	2	2	21	1	10
4	4	3	13	3	3	22	2	3
5	5	4	14	4	4	23	3	2
6	1	5	15	5	2	24	4	3
7	2	2	16	6	3	25	5	3
8	3	3	17	7	2	26	1	8
9	4	4	18	8	3	27	2	5

Завдання 3

Чому дорівнює кількість інформації у повідомленні X переданого у двійковому коді n - значною комбінацією (довжина повідомлення дорівнює n).

Вар.	n	Вар.	n	Вар.	n
1	0	10	40	19	15
2	1	11	50	20	16
3	2	12	60	21	17
4	3	13	70	22	18
5	4	14	80	23	45
6	5	15	90	24	55
7	10	16	100	25	65
8	20	17	25	26	75
9	30	18	35	27	85

Завдання 4

Визначити кількість інформації J при одержанні абонентом K повідомлення рівномірного m -значного n -розрядного коду. Варіанти у таблиці.

Вар.	K	m	n	Вар.	K	m	n
1	1	1	10	10	20	4	1
2	2	2	5	11	40	8	4
3	3	4	5	12	100	2	2
4	4	8	10	13	1	1	1
5	5	16	5	14	2	2	2
6	10	32	1	15	3	4	3
7	5	4	2	16	4	8	4
8	10	8	1	17	5	16	5
9	20	16	1	18	6	32	6

Завдання 5

За умові рівномірності та незалежності символи алфавіту, що складається з m елементів (букв), визначити середню ентропію $H(X)$ на один символ алфавіту. Варіанти завдань представлені у таблиці.

Вар.	m	Вар.	m	Вар.	m
1	1	10	512	19	80
2	2	11	1024	20	90
3	4	12	10	21	100
4	8	13	20	22	200
5	16	14	30	23	300
6	32	15	40	24	400
7	64	16	50	25	500
8	128	17	60	26	600
9	256	18	70	27	700

Контрольні питання:

- 1 Дайте визначення наступним поняттям: подія, ймовірність здійснення події; залежні, незалежні, спільні і неспільні події; повна група подій.
- 2 У чому сутність оцінки кількості інформації $J(X)$ за Р. Хартлі?
- 3 Від яких факторів залежить оцінка кількості інформації за Р. Хартлі?
- 4 Представити та пояснити формулу для визначення кількості інформації за Р. Хартлі.
- 5 Чим обумовлений вибір значення основи a логарифма \log_a при визначенні кількості інформації? Які одиниці виміру кількості інформації?
- 6 Навести вираз для визначення кількості інформації $J(X)$ у повідомленні з довжиною n розрядів.
- 7 Перелічити та пояснити всі основні властивості ентропії та інформації дискретних повідомлень.
- 8 Навести можливі види сигналів, що застосовуються для передачі повідомлень у інформаційних системах.
- 9 Дайте визначення поняттю “один біт інформації”.
- 10 Що поєднує та чим принципово відрізняються поняття ентропії та інформації?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 4

Тема: ОЦІНКА КІЛЬКОСТІ ЕНТРОПІЇ ТА ІНФОРМАЦІЇ У ПОВІДОМЛЕННІ (МІРА К. ШЕНОНА)

Мета: Одержати навички розрахунку ентропії та інформації дискретних повідомлень.

Завдання:

1. Повторити теоретичний матеріал.
2. Відповідно до варіанту завдання розв'язати задачі.
3. Виконати аналіз отриманих результатів та інформації.

Основні поняття та визначення

Ентропія (інформаційна) - міра хаотичності інформації, невизначеність появи будь-якого символу алфавіту. За відсутності інформаційних втрат ентропія чисельно дорівнює кількості інформації на символ переданого повідомлення.

Інформаційна ентропія для незалежних випадкових подій x з n можливими станами (номер стану i змінюється від 1 до n) розраховується за формулою Шеннона. Ця величина також називається середньою ентропією повідомлення.

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i)$$

Часткова ентропія, що характеризує тільки i -й стан

$$\log_2 \frac{1}{p(i)}$$

Таким чином, ентропія події x є сумою з протилежним знаком всіх добутків відносних частот появи події i , помножених на їх двійкові логарифми (основу логарифму 2 вибрано тільки для зручності роботи з інформацією, представлену в двійковій формі). Якщо всі стани системи є рівноімовірними, то для обчислення ентропії використовується формула Хартлі, яка визначає кількість інформації, що міститься в повідомленні довжиною n .

Для розуміння формули Хартлі розглянемо алфавіт A , з літер якого складене повідомлення: $|A|=m$. Кількість модливих варіантів різних повідомлень: $N=mn$, де N – можлива кількість різних повідомлень, m – кількість літер в алфавіті, n – кількість літер в повідомленні.

Формула Хартлі визначається: $I=\log_2 N=n*\log_2 m$, де I – кількість інформації в бітах. При рівноімовірності символів $p=1/m$, $m=1/p$ формула Хартлі переходить у власну інформацію. Формула Хартлі була запропонована Ральфом Хартлі в 1928 році як один з наукових підходів до оцінки повідомлень.

Ентропія є величиною дійсною та має екстремум. Оскільки відомо, що логарифми правильних дробів є від'ємними, то ентропія досліду з кінцевою кількістю виходів є завжди додатною

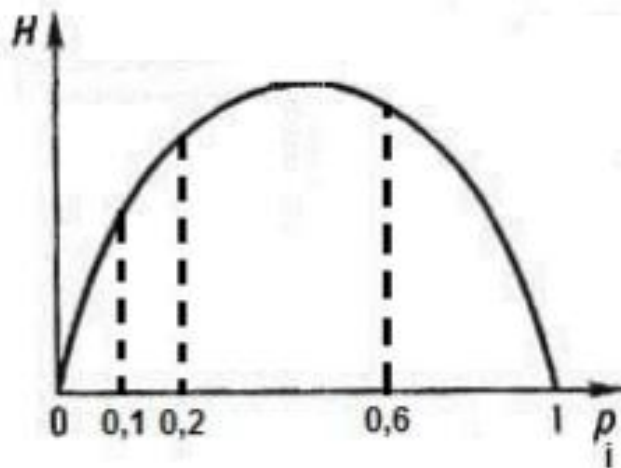


Рисунок 3.1 - Графік функції $f(p_i) = -p_i \log p_i$

Графік функції $f(p_i) = -p_i \log p_i$, зображений на рисунку 3.1, дозволяє оцінити вплив імовірності появи окремого символу на величину виразу ентропії для повідомлення в цілому.

Ентропію можна визначити по формулі:

$$H = -p_1 \log p_1 - p_2 \log p_2 = -p \log p - (1-p) \log(1-p)$$

Ентропія бінарних повідомлень досягає максимального значення, рівного 1 біту, коли знаки алфавіту повідомлень рівноімовірні, тобто при $P=0,5$, та її графік симетричний відносно цього значення (рис.3.2).

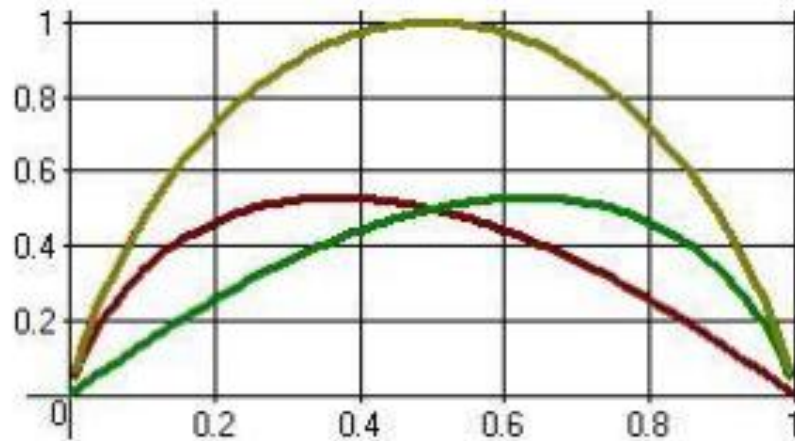


Рисунок 3.2 - Графік функції ентропії H двійкових повідомлень та її складові $-(1-p) \log_2(1-p)$ та $-p \log_2 p$ від P

Для будь-якої кількості символів середня кількість інформації на один символ досягає максимуму в тому випадку, коли всі символи використовуються з рівними ймовірностями. Ще одна властивість ентропії - ентропія повідомлення, що складається з деяких часткових повідомлень, дорівнює сумі повідомлень, що його складають.

Завдання 1

У вихідному повідомленні A джерела дискретних повідомлень, складеного на підставі використання алфавіту з m якісними ознаками, міститься n двійкових розрядів. Визначити частину H на один елемент a_i повідомлення A , а також загальну ентропію $H(A)$ усього повідомлення, при заданих ймовірностях $P(a_i)$ появи елементів a_i повідомлення.

Варіанти завдань представлені у таблиці

Вар.	P_1	P_2	P_3	P_4	n	Вар.	P_1	P_2	P_3	P_4	n
1	0,6	0,25	0,05	0,1	20	16	0,7	0,1	0,1	0,1	5
2	0,25	0,25	0,25	0,25	10	17	0,1	0,1	0,7	0,1	10
3	0,3	0,3	0,3	0,1	5	18	0,2	0,1	0,6	0,1	20
4	0,3	0,1	0,1	0,5	4	19	0,3	0,1	0,5	0,1	30
5	0,3	0,2	0,1	0,4	3	20	0,4	0,1	0,4	0,1	1
6	0,3	0,1	0,2	0,4	2	21	0,5	0,1	0,3	0,1	2
7	0,4	0,1	0,2	0,3	1	22	0,6	0,1	0,2	0,1	3
8	0,5	0,1	0,2	0,2	5	23	0,7	0,1	0,1	0,1	4
9	0,6	0,1	0,2	0,1	10	24	0,8	0,05	0,05	0,1	5
10	0,1	0,1	0,1	0,7	20	25	0,1	0,1	0,1	0,2	6
11	0,2	0,1	0,1	0,6	30	26	0,2	0,2	0,1	0,2	7
12	0,3	0,1	0,1	0,5	40	27	0,3	0,3	0,1	0,2	8
13	0,4	0,1	0,1	0,4	50	28	0,4	0,4	0,1	0,2	9
14	0,5	0,1	0,1	0,3	60	29	0,5	0,5	0,1	0,2	10
15	0,6	0,1	0,1	0,2	100	30	0,6	0,6	0,1	0,2	15

Завдання 2

Визначити загальну ентропію джерела дискретних повідомлень з наступним ансамблем

$$X = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_i & x_m \\ p_1 & p_2 & p_i & p_m \end{pmatrix}$$

Варіанти завдань представлені у таблиці

Вар.	P_1	P_2	P_3	P_4	Вар.	P_1	P_2	P_3	P_4
1	0,1	0,1	0,3	0,5	16	0,8	0,1	0,05	0,05
2	0,1	0,1	0,1	0,7	17	0,7	0,2	0,05	0,05
3	0,1	0,1	0,7	0,1	18	0,6	0,3	0,05	0,25

4	0,1	0,1	0,2	0,6	19	0,5	0,4	0,05	0,05
5	0,1	0,1	0,4	0,4	20	0,6	0,15	0,15	0,1
6	0,2	0,1	0,1	0,6	21	0,6	0,2	0,1	0,1
7	0,3	0,1	0,1	0,5	22	0,5	0,3	0,1	0,1
8	0,4	0,1	0,1	0,4	23	0,6	0,1	0,15	0,15
9	0,5	0,1	0,1	0,3	24	0,5	0,1	0,2	0,2
10	0,6	0,1	0,1	0,2	25	0,4	0,2	0,2	0,2
11	0,7	0,1	0,1	0,1	26	0,3	0,2	0,2	0,2
12	0,25	0,25	0,25	0,25	27	0,15	0,15	0,2	0,5
13	0,9	0,05	0,05	0	28	0,15	0,15	0,15	0,55
14	0,8	0,05	0,05	0,1	29	0,4	0,4	0,1	0,1
15	0,7	0,05	0,05	0,2	30	0,3	0,3	0,3	0,1

Завдання 3

Двійкове (символи a_1, a_2) дискретне джерело інформації A виробляє перший символ a_1 з ймовірністю P .

Визначити частину кількості інформації $j(a_i)$ у a_1 і a_2 , а також загальну ентропію $H(A)$ джерела при заданому значенні P .

Варіанти завдань представлені у таблиці

Вар.	P	Вар.	P	Вар.	P	Вар.	P	Вар.	P	Вар.	P
1	0,1	6	0,6	11	0	16	0,15	21	0,95	26	0,06
2	0,2	7	0,7	12	0,01	17	0,35	22	0,02	27	0,07
3	0,3	8	0,8	13	0,25	18	0,65	23	0,03	28	0,08
4	0,4	9	0,9	14	0,45	19	0,75	24	0,04	29	0,09
5	0,5	10	1	15	0,55	20	0,85	25	0,05	30	0,21

Контрольні питання:

1. Дайте визначення поняттям ентропія та інформація. У чому суть розходжень цих понять?
2. Навести та пояснити формулу для визначення кількості інформації за оцінкою К. Шенона.
3. Пояснити вибір значення основи логарифма у формулі для оцінки кількості інформації.
4. Пояснити від яких змінних залежить значення кількості інформації при її оцінці за К. Шеноном.
5. Пояснити суть відмінностей в оцінці кількості інформації за критеріями Р. Хартлі та К. Шенона.
6. Дати визначення поняттю «ансамбль повідомлень» або «кінцева схема».
7. Привести формулу для визначення часткової $J(x_i)$ та загальної $J(X)$ кількості інформації у повідомленні X . У якому випадку загальна кількість інформації $J(X)$ буде максимальною?
8. Пояснити вибір одиниці виміру ентропії

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 5

Тема: ІНФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСКРЕТНИХ ДЖЕРЕЛ ПОВІДОМЛЕНЬ.

Мета: Засвоєння основних інформаційних характеристик джерела дискретних повідомлень. Одержання навичок їх кількісної оцінки.

Завдання:

1. Відповідно до варіанту завдання визначити наступні інформаційні характеристики ДДП: K_n і K_c ; S_n ; S_o , T_o , K_c , K_n .
2. Виконати аналіз результатів.

Завдання 1

У вихідному повідомленні A джерела дискретних повідомлень, складеного на підставі, складеного на підставі використання алфавіту з m якісними ознаками, містить n розрядів. Визначити частинну ентропію $H(x_i)$ на один елемент a_i повідомлення A , а також загальну ентропію ентропію $H(A)$ усього повідомлення, при заданих ймовірностях $P(a_i)$ появи елементів a_i повідомлення.

Варіанти завдань представленні у таблиці.

Вар.	P_1	P_2	P_3	P_4	m	Вар.	P_1	P_2	P_3	P_4	m
1	0,6	0,25	0,05	0,1	20	16	0,7	0,1	0,1	0,1	5
2	0,25	0,25	0,25	0,25	10	17	0,1	0,1	0,7	0,1	10
3	0,3	0,3	0,3	0,1	5	18	0,2	0,1	0,6	0,1	20
4	0,3	0,1	0,1	0,5	4	19	0,3	0,1	0,5	0,1	30
5	0,3	0,2	0,1	0,4	3	20	0,4	0,1	0,4	0,1	1
6	0,3	0,1	0,2	0,4	2	21	0,5	0,1	0,3	0,1	2
7	0,4	0,1	0,2	0,3	1	22	0,6	0,1	0,2	0,1	3

8	0,5	0,1	0,2	0,2	5	23	0,7	0,1	0,1	0,1	4
9	0,6	0,1	0,2	0,1	10	24	0,8	0,05	0,05	0,1	5
10	0,1	0,1	0,1	0,7	20	25	0,1	0,6	0,1	0,2	6
11	0,2	0,1	0,1	0,6	30	26	0,2	0,5	0,1	0,2	7
12	0,3	0,1	0,1	0,5	40	27	0,3	0,4	0,1	0,2	8
13	0,4	0,1	0,1	0,4	50	28	0,4	0,3	0,1	0,2	9
14	0,5	0,1	0,1	0,3	60	29	0,5	0,2	0,1	0,2	10
15	0,6	0,1	0,1	0,2	100	30	0,6	0,1	0,1	0,2	15

Завдання 2

Визначити загальну ентропію джерела дискретних повідомлень з наступним ансамблем

$$X = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \dots & x_i \dots & x \\ p_1 & p_2 \dots & p_i \dots & p \end{pmatrix}$$

Вар.	p_1	p_2	p_3	p_4	Вар.	p_1	p_2	p_3	p_4
1	0,1	0,1	0,3	0,5	16	0,8	0,1	0,05	0,05
2	0,1	0,1	0,1	0,7	17	0,7	0,2	0,05	0,05
3	0,1	0,1	0,7	0,1	18	0,6	0,3	0,05	0,05
4	0,1	0,1	0,2	0,6	19	0,5	0,4	0,05	0,05
5	0,1	0,1	0,4	0,4	20	0,6	0,15	0,15	0,1
6	0,2	0,1	0,1	0,6	21	0,6	0,2	0,1	0,1
7	0,3	0,1	0,1	0,5	22	0,5	0,3	0,1	0,1
8	0,4	0,1	0,1	0,4	23	0,6	0,1	0,15	0,15
9	0,5	0,1	0,1	0,3	24	0,5	0,1	0,2	0,2
10	0,6	0,1	0,1	0,2	25	0,4	0,2	0,2	0,2
11	0,7	0,1	0,1	0,1	26	0,3	0,2	0,2	0,2
12	0,25	0,25	0,25	0,25	27	0,15	0,15	0,2	0,5
13	0,9	0,05	0,05	0	28	0,15	0,15	0,15	0,55

14	0,8	0,05	0,05	0,1	29	0,4	0,4	0,1	0,1
15	0,7	0,05	0,05	0,2	30	0,3	0,3	0,3	0,1

Завдання 3

Двійкове (символи a_1, a_2) дискретне джерело інформації A виробляє перший символ a_1 з ймовірністю P .

Визначити частинну кількість інформації $J(a_i)$ у a_1 і a_2 , а також загальну ентропію $H(A)$ джерела при заданому значенні P .

Варіанти завдання представленні у таблиці.

Вар.	P	Вар.	P	Вар.	P	Вар.	P	Вар.	P	Вар.	P
1	0,1	6	0,6	11	0	16	0,15	21	0,95	26	0,06
2	0,2	7	0,7	12	0,01	17	0,35	22	0,02	27	0,07
3	0,3	8	0,8	13	0,25	18	0,65	23	0,03	28	0,08
4	0,4	9	0,9	14	0,45	19	0,75	24	0,04	29	0,09
5	0,5	10	1	15	0,55	20	0,85	25	0,05	30	0,21

Завдання 4

Дискретне джерело інформації видає J одиниць інформації, при цьому середня ентропія, що приходить на один елемент надлишкового повідомлення S_n дорівнює $H_n(X)$.

Відповідно до варіанта завдання (таблиця) знайти довженну S_n двійкового коду на виході джерела $H_n(X)$

Вар.	J	$H_n(X)$	Вар.	J	$H_n(X)$	Вар.	J	$H_n(X)$
1	2	0,1	11	20	0,2	21	10	0,1
2	4	0,2	12	25	0,4	22	20	0,2
3	8	0,3	13	30	0,6	23	30	0,3
4	10	0,4	14	40	0,8	24	40	0,4
5	20	0,5	15	50	0,2	25	50	0,5

6	25	0,6	16	60	0,4	26	60	0,6
7	30	0,7	17	70	0,6	27	15	0,7
8	5	0,8	18	80	0,8	28	25	0,1
9	10	0,9	19	90	0,9	29	35	0,2
10	15	1	20	100	0,1	30	50	0,3

Завдання 5

Дискретне джерело повідомлення видає двійковим кодом J біт інформації за час T_n . При цьому тривалість однієї двійкової послілки дорівнює τ_n .

За який час T_0 і якою кількістю S_0 двійкових послілок можна передати такий самий об'єм інформації J , якщо відповідною обробкою цілком усувається надмірність джерела повідомлень? Визначити коефіцієнт K_H і K_c джерела.

Вихідні дані для Розв'язання задачі приведені у таблиці.

Вар.	$T_n(c)$	$\tau_n(c)$	$J(\text{біт})$	Вар.	$T_n(c)$	$\tau_n(c)$	$J(\text{біт})$
1	10^6	0,1	10^3	16	10^6	0,01	10^4
2	10^7	0,01	10^4	17	10^7	0,02	10^5
3	10^8	0,02	10^5	18	10^7	0,03	10^6
4	10^9	0,04	10^6	19	10^8	0,04	10^7
5	10^6	0,05	10^7	20	10^8	0,05	10^8
6	10^7	0,06	10^8	21	10^4	0,06	10^4
7	10^8	0,07	10^4	22	10^5	0,07	10^5
8	10^9	0,08	10^6	23	10^6	0,08	10^6
9	10^5	0,09	10^8	24	10^7	0,09	10^7
10	10^6	0,01	10^9	25	10^8	0,001	10^8

11	10^7	0,02	10^7	26	10^6	0,002	10^4
12	10^6	0,03	10^7	27	10^7	0,003	10^5
13	10^9	0,04	10^7	28	10^8	0,004	10^6
14	10^4	0,05	10^6	29	10^6	0,125	10^7
15	10^5	0,06	10^6	30	10^8	0,05	10^6

Контрольні питання:

1. Дайте визначення поняттю "модель джерела дискретних повідомлень."
2. Перелічити та пояснити основні інформаційні характеристики джерел дискретних повідомлень.
3. Що таке надмірність повідомлень? Як вона кількісно визначається?
4. Дайте визначення продуктивності джерела дискретних повідомлень.
5. Дайте визначення коефіцієнтів надмірності K_n та K_c стиску.
6. Дайте визначення поняттю абсолютної інформаційної недовантаженості. В яких одиницях вона вимірюється?
7. Привести формулу для визначення коефіцієнту інформаційної надмірності. В яких одиницях він вимірюється?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 6

Тема: ЕНТРОПІЯ ТА ІНФОРМАЦІЯ СКЛАДНИХ ДИСКРЕТНИХ ПОВІДОМЛЕНЬ.

Мета: Засвоєння основних властивостей ентропії та інформації складних дискретних повідомлень. Одержання навичок розрахунку ентропії та інформації.

Завдання:

1. Відповідно до варіанту завдання виконати контрольні завдання 1 і 2.
2. Виконати аналіз отриманих результатів.

Завдання 1

Нехай дана матриця, де $P_{ij} = p(x_i, y_j)$ - об'єднання двох джерел повідомлень X та Y .

Таблиця 1- Матриця об'єднання

	Y	y ₁	y ₂	...	y _m	P(x _i)
X						
	x ₁	P ₁₁	P ₁₂	...	P _{1m}	P(x ₁)
	x ₂	P ₂₁	P ₂₂	...	P _{2m}	P(x ₂)
	P _{ij} = (x _i y _j)
	x _n	P _{n1}	P _{n2}	...	P _{nm}	P(x _n)
	P(y _j)	P(y ₁)	P(y ₂)	...	P(y _m)	1 1

При цьому:

$$p(x_i) = \sum_{j=1}^m P_{ij}, \text{ для } i = \overline{1, n};$$

$$p(y_j) = \sum_{i=1}^n p_{ij}, \text{ для } j = \overline{1, m};$$

Необхідно визначити :

а) загальні безумовні ентропії $H(X)$ та $H(Y)$;

б) загальні умовні ентропії $H(X/Y)$ та $H(Y/X)$;

в) спільну ентропію $H(X, Y)$;

г) взаємну ентропію $H(X \cdot Y)$.

По відомих співвідношеннях перевірити правильність проведення розрахунків.

У таблиці 2 приведенні варіанти завдань для Розв'язання задачі, а в таблиці 3 представлені загальні позначення матриці об'єднання $P_i = p(x_i, y_j)$.

Таблиця 2- Варіанти завдань

Вар.	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{31}	P_{32}	P_{33}
1	0,1	0,5	0	0,2	0,2	0	0	0	0
2	0,2	0,4	0	0,1	0,3	0	0	0	0
3	0,1	0,2	0	0,1	0,6	0	0	0	0
4	0,2	0,3	0	0,3	0,2	0	0	0	0
5	0,1	0,4	0	0,4	0,1	0	0	0	0
6	0,15	0,35	0	0,35	0,15	0	0	0	0
7	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	0	0	0
8	0,4	0,4	0	0,1	0	0,1	0	0	0
9	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0	0	0
10	0,4	0,4	0,1	0,05	0,05	0	0	0	0
11	0,2	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1	0	0	0
12	0,3	0,3	0,2	0,1	0,05	0,05	0	0	0
13	0,1	0,2	0,3	0,25	0	0,15	0	0	0

14	0,1	0,1	0,3	0,25	0,1	0,15	0	0	0
15	0,1	0,3	0,2	0,25	0	0,15	0	0	0
16	0,2	0,2	0,2	0,4	0	0	0	0	0
17	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	0	0	0
18	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0	0	0	0
19	0,1	0,2	0,3	0,25	0	0,15	0	0	0
20	0,4	0,1	0	0	0,2	0,1	0	0	0,2
21	0,1	0,1	0,1	0	0,3	0	0	0,2	0,2
22	0,1	0,05	0,15	0	0,3	0	0	0,2	0,2
23	0,05	0,15	0,1	0	0,3	0	0	0,2	0,2
24	0	0,1	0,2	0,1	0,3	0	0,1	0	0,2
25	0,1	0	0,2	0,1	0,3	0	0	0,1	0,2
26	0,05	0,05	0,2	0	0,3	0,1	0,15	0	0,15
27	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0	0,1
28	0,2	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0	0,1
29	0,2	0,05	0,05	0,2	0,1	0,1	0,05	0	0,25
30	0,1	0,2	0	0	0,3	0	0	0,2	0,2

Таблица 3 – Таблица позначення

$Y \backslash X$	y_1	y_2	y_3	P_i
x_1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	$P(x_1)$
x_2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	$P(x_2)$
x_3	P_{31}	P_{n2}	P_{33}	$P(x_3)$
P_j	$P(y_1)$	$P(y_2)$	$P(y_3)$	1
				1

Завдання 2

Сигнали керування з виходу автоматизованої системи керування технологічними процесами (АСК ТП) у цифровій формі (у виді двійкового коду) надходять на вхід технологічного об'єкта керування автоматизованого технологічного комплексу (ТОК АТК) з ймовірностями появи сигналів, що відповідають значенням «1» та «0», рівними відповідно, $p(x_1) = 0,6$ та $p(x_0) = 0,4$.

При цьому надходження кожного з символів «1» та «0» взаємозалежні з наступними співвідношеннями

$p(x_i/x_j)$ для $i, j = \overline{0,1}$; $p(x_1) + p(x_2) = 1$; де: $p(x_i/x_j)$ - умовні ймовірності появи вхідних символів «0» та «1». (див. табл.)

Вар.	$p(x_1)$	$p(x_0/x_0)$	$p(x_1/x_0)$	$p(x_1/x_1)$	$p(x_0/x_1)$
1	0,1	0,1	0,9	0,1	0,9
2	0,2	0,2	0,8	0,1	0,9
3	0,3	0,3	0,7	0,1	0,9
4	0,4	0,4	0,6	0,1	0,9
5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
6	0,6	0,3	0,7	0,3	0,7
7	0,7	0,4	0,6	0,3	0,7
8	0,8	0,1	0,9	0,3	0,7
9	0,9	0,4	0,6	0,5	0,5
10	0,9	0,3	0,7	0,5	0,5
11	0,8	0,1	0,9	0,5	0,5
12	0,7	0,1	0,9	0,1	0,9
13	0,8	0,1	0,9	0,5	0,5
14	0,6	0,2	0,8	0,1	0,9
15	0,4	0,1	0,9	0,2	0,8
16	0,3	0,2	0,8	0,2	0,8
17	0,4	0,8	0,2	0,8	0,2

18	0,7	0,4	0,6	0,4	0,6
19	0,2	0,6	0,4	0,6	0,4
20	0,1	0,3	0,7	0,7	0,3
21	0,8	0,7	0,3	0,3	0,7
22	0,3	0,5	0,5	0,1	0,9
23	0,1	0,5	0,5	0,1	0,9
24	0,9	0,5	0,5	0,9	0,1
25	0,4	0,4	0,6	0,4	0,6
26	0,9	0,6	0,4	0,3	0,7
27	0,1	0,6	0,4	0,3	0,7
28	0,7	0,4	0,6	0,7	0,3
29	0,5	0,4	0,6	0,2	0,8
30	0,6	0,1	0,9	0,1	0,9

Необхідно визначити ентропію $H(X)$ вхідної інформації.

Контрольні питання:

1. Дайте визначення та поясніть зміст наступних понять: ентропія складних повідомлень, умовна ентропія, частиннаумовна ентропія, загальна умовна ентропія, спільна та взаємна ентропії.
2. Представте загальний вигляд матриці об'єднання для двох довільних ансамблів дискретних повідомлень X та Y .
3. Представте та поясніть формули для визначення наступних величин: загальної безумовної ентропії, частинної умовної ентропії та загальної умовної ентропії дискретних повідомлень.
4. Наведіть та поясніть вираз для визначення спільної ентропії двох повідомлень як функції від безумовної ентропії одного з повідомлень X та умовної ентропії іншого повідомлення Y .
5. Наведіть та поясніть вираз для визначення спільної ентропії для деякої безлічі повідомлень.

6. Перелічте та поясніть всі основні властивості ентропії та інформації складних дискретних повідомлень.

7. Наведіть та поясніть формули для визначення взаємної ентропії та середньої кількості інформації.

8. Дайте геометричну інтерпретацію поняттю частинної умовної ентропії.

9. Перерахуйте властивості ентропії складних дискретних повідомлень.

10. Перерахуйте властивості інформації складних дискретних повідомлень.

11. Дайте геометричну інтерпретацію умовних ентропій.

12. Наведіть та поясніть формули для визначення умовних ентропій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабчук С.М. Надійність комп'ютерних систем і мереж [Електронний ресурс]: конспект лекцій / С. М. Бабчук. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. – 83 с. – Режим доступу: <http://194.44.112.13/chytalna/5417/index.html/>
2. Василенко О. А. Математично-статистичні методи аналізу у прикладних дослідженнях: навч. посіб. / О. А. Василенко, І. А. Сенча. – Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2011. – 166 с.
3. Вишнівський В.В. Основи надійності та діагностики телекомунікаційних і радіотехнічних систем. Конспект лекцій. Київ: ННІТІ ДУТ, 2015. – 142 с.
4. Заміховський Л.М., Калявін В.П. Основи теорії надійності і технічної діагностики систем: Навчальний посібник. – Івано-Франківськ: Вид-во “Полум’я”, 2009.– 360 с.
5. Корнієнко Б.Я. Захист інформації в комп'ютерних системах та мережах (модульні технології навчання). Навчально-методичне видання / Б.Я. Корнієнко, М.М. Фомін, Л.М. Щербак - Київ: НАУ. – 2004, 107 с..
6. Основи теорії надійності програмних систем : навч. посіб.. – Яковина В.С., Сенів М.М. Львів : вид-во Львівської політехніки, 2020. – 248 с.
7. Основи теорії надійності технічних систем. Павлюк О.М., Медиковський М.О., Ізонін І.В. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. 208 с.
8. Павлов В.Г. Структурна організація та архітектура комп'ютерних систем: Конспект лекцій. / В.Г. Павлов, І.І. Михальчук – К.: НАУ, 2010, 64 с.
9. Тарасенко В.П. Надійність комп'ютерних систем / В.П. Тарасенко, А.Ю. Маламан, Ю.П. Черніченко, В.І. Корнійчук – К.: «Корнійчук», 2007. -256с. .
10. Черв'яков В. Д. Основи надійності об'єктів системотехніки: навч. посіб. /В. Д. Черв'яков, А. В. Павлов, О. Ю. Журавльов. – Суми: Сумський державний університет, 2011. –245с.

Навчальне видання

НАДІЙНІСТЬ І ВІДМОВОСТІЙКІСТЬ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт

Укладач:

НЕЧИТАЙЛО Юлія Анатоліївна

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.
Ум. друк. арк. _.
Наклад ___ пр.
Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44