

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет комп'ютерних систем і автоматики

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютерних систем управління

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

До магістерської кваліфікаційної роботи
на тему: “ Розробка ефективних методів і пристроїв представлення і передачі
інформації в системах управління ”

Виконав: студент 2 курсу,

групи 2АКІТ-17м

спеціальності

151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

освітньо-професійна програма

Інтелектуальні комп'ютерні системи

Хвалько А.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник Биков М.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Васюра А.С.

(прізвище та ініціали)

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет комп'ютерних систем та автоматики

Кафедра комп'ютерних систем управління

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Інтелектуальні комп'ютерні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КСУ

В.М. Дубовой

“ 05 ” 09 2018 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Хвальку Антону Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Розробка ефективних методів і пристроїв представлення і передачі інформації в системах управління» керівник магістерської кваліфікаційної роботи Биков Микола Максимович, к. т. н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом вищого навчального закладу від “28” 09 2018 року № 238р.

2. Строк подання студентом магістерської кваліфікаційної роботи 19. 01. 2019 року
3. Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: стани об'єктів управління, представлені ранговими конфігураціями у вигляді матриці суміжності рангів графа, середовища моделювання – Матлаб, Visual Studio 2010.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ, аналіз методів і пристроїв представлення і передачі інформації в системах управління, розробка пристрою передачі рангової інформації і його математичне обґрунтування, розробка алгоритмів і програмного забезпечення кодування і декодування рангової інформації та моделювання каналу передачі, машинний експеримент, економічна частина.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Приклади конфігурацій станів систем управління (плакат) – А4, математична модель DRP-коду (плакат) – А4, структурна схема пристрою передачі інформації (креслення) – А4, схема програми навчання штучної нейронної мережі (креслення) – А4, результати дослідження впливу каналу передачі на ранговий код (плакат) – А4, схема програми кодування DRP-кодом А4, схема програми виявлення і корекції помилок в коді (креслення) – А4, UML – діаграма розгортання – А4.

6. Консультанти розділів магістерської кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	к.т.н, професор кафедри КСУ Биков М.М.		
2	к.т.н, професор кафедри КСУ Биков М.М.		
3	к.т.н, професор кафедри КСУ Биков М.М.		
4	к.т.н, доцент кафедри ЕПВМ Адлер О.О.		

7. Дата видачі завдання “_05_”_09_2018 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ, аналіз методів і пристроїв представлення і передачі інформації в системах управління. Постановка задач дослідження.	12.09.2018р.	
2	Розробка пристрою передачі рангової інформації і його математичне обґрунтування.	22.09.2018р.	
3	Моделювання каналу передачі інформації з завадами.	03.10.2018р.	
4	Розробка алгоритмів і програмного забезпечення кодування і декодування рангової інформації.	10.11.2018 р.	
5	Підготовка економічної частини	12.12.2018р.	
6	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і презентації.	22.12.2018р.	
7	Апробація результатів дослідження. Публікації.	10.01.2019р.	
8	Захист МКР.	22.01.2019р.	

Студент _____
(підпис)

Хвалько А.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____
(підпис)

Биков М. М.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	6
ABSTRACT	7
ВСТУП	8
1 ВАРІАНТНИЙ АНАЛІЗ І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ	11
1.1 Суть технічної проблеми	11
1.1.1 Інформаційна модель каналу	12
1.1.2 Підвищення завадостійкості передачі інформації.....	14
1.2 Способи вирішення технічної проблеми.....	17
1.2.1 Підвищення завадостійкості і інформаційної ємності.....	17
1.2.2 Підвищення ефективності прийняття рішень	21
1.3 Висновки	25
2 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ І ЙОГО МАТЕМАТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	27
2.1 Розробка математичних моделей рангових конфігурацій і рангових кодів....	27
2.2 Розробка структурної схеми	36
2.3 Математична модель кодера.....	38
2.3.1 Інтерпритація природної нейронної мережі.....	38
2.3.2 Архітектура нейронних мереж	39
2.3.3 Функції активації.....	41
2.3.4 Типи архітектур.....	42
2.3.5 Навчання багатошарової мережі.....	46
2.4 Приклад використання ШНМ в якості кодера в системі розпізнавання символів	48
2.5 Дослідження корегуючих властивостей рангового коду	52
3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ І ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	58
3.1 Розробка алгоритму кодування рангових конфігурацій DRP-кодом.....	58

3.2 Розробка алгоритму локалізації і виправлення помилок в DRP-кодi.....	61
3.3 Розробка алгоритму декодування DRP-коду в рангову конфiгурацiю	62
3.4 Розробка програмного забезпечення	64
3.4.1 Вибiр програмної платформи	64
3.4.2 Опис програми кодування потенцiальним кодом	64
3.5 Результати тестування програми	64
3.6 Інструкцiя користувачу	65
4 ЕКОНОМIЧНА ЧАСТИНА.....	68
4.1 Аналіз комерцiйного потенцiалу розробки	68
4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослiдної, дослiно-конструкторської та конструкторсько-технологiчної роботи	72
4.3 Прогнозування комерцiйних ефектiв вiд реалiзацiї результатiв розробки.....	77
4.4 Розрахунок ефективностi вкладених iнвестицiй та перiод їх окупностi	79
ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛIТЕРАТУРИ.....	81
ДОДАТКИ.....	85
Додаток А (обов'язковий) Техiчне завдання	86
Додаток Б Лiстинги програми.....	89
Додаток В (обов'язковий) Перелiк графiчних матерiалiв.....	94

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробці ефективних методів і пристроїв представлення і передачі інформації в системах управління.

Розроблені математичні основи, алгоритми і програмне забезпечення представлення інформації ранговими конфігураціями і їх кодування DRP-кодом, проведені експериментальні дослідження запропонованих методів і алгоритмів, розроблено пристрій передачі інформації з використанням запропонованих кодів. Розроблено алгоритми локалізації і виправлення помилок в кодах, внесених каналом передачі.

В економічній частині проведений розрахунок затрат на розробку програмного продукту, експлуатаційних затрат, а також розраховано економічний ефект від впровадження нового програмного продукту.

Розроблені методи, пристрої, алгоритми і програмне забезпечення дозволяють уніфікувати представлення інформації про стани об'єктів управління в різних параметричних просторах, і таким чином, підвищити ефективність її обробки і передачі під час прийняття рішень в системах управління.

ABSTRACT

The master's qualification work is devoted to the development of effective methods and devices for the representation and transmission of information in management systems.

The mathematical bases, algorithms and software for representing information by rank configurations and their coding by DRP-code have been developed, experimental researches of proposed methods and algorithms have been carried out, a device for transmitting information using the proposed codes has been developed. The algorithms of localization and correction of errors in the codes introduced by the transmission channel are developed.

In the economic part, the calculation of the cost of developing the software product, operating costs, and the economic effect of the introduction of a new software product was also calculated.

The developed methods, devices, algorithms and software allow to unify the representation of information about the states of objects of management in different parametric spaces, and thus increase the efficiency of its processing and transmission in decision-making in control systems.

ВСТУП

Актуальність теми. Еволюція інтелектуальних систем автоматизації призводить до постійного зростання кількості підходів до аналізу даних, обробки і прийняття рішень та їх представлення. Це зумовлено відмінністю цілей управління цих систем і об'єктів контролю та часто викликає не малі труднощі в розробці ефективних методів і алгоритмів аналізу даних, добування знань і їх використання для прийняття рішень на керування. Рішення на керування в системах управління приймають на основі інформації про відстань між поточним і цільовим станами об'єкта. Ці відстані в різних параметричних просторах (детерміністичному, імовірнісному, наближеному, нечіткому та ін.) описують по-різному, що вимагає для кожного випадку розробки окремих методів і алгоритмів представлення інформації і прийняття рішень. В данній магістерській роботі показано, що важливою інформацією для реалізації процедури ідентифікації станів і оптимізації роботи системи є не самі відстані між цими станами, а їх рангові відношення. Для опису рангового відношення відстаней між станами системи введено поняття рангової конфігурації. Ефективність застосування рангових конфігурацій для комп'ютеризованого аналізу даних і прийняття рішень залежить від методу їх опису, звідки впливає необхідність розробити ефективний щодо обчислювальних затрат двійковий метод кодування, який визначає як самі об'єкти (стани), так і інформацію про ранги відстаней між ними. Під час реалізації такого підходу виникає низка задач. Вони пов'язані з необхідністю підвищення ефективності передачі інформації про стани системи управління та локалізації і виправлення помилок, що вносяться каналом передачі. Тому проблема розробки теоретичних основ та практичних засобів уніфікованого представлення інформації про стани об'єктів управління, її кодування та передачі в системах управління під час прийняття рішень на сьогодні є досить актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана згідно плану кафедральної науково-дослідної роботи № 52К4 “Методи прийняття рішень на основі принципів обчислювального інтелекту”.

Мета і задачі дослідження. Метою магістерської роботи є підвищення ефективності прийняття рішень в системах управління за рахунок розробки методів і пристроїв представлення і передачі інформації в системах управління, ефективних щодо обчислювальних затрат та способів корекції помилок.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- розробити математичне обґрунтування уніфікованого представлення і кодування інформації про стани об'єктів управління в різних параметричних просторах;
- розробити структуру пристрою передачі рангової інформації;
- розробити математичну модель нейронної мережі як кодера опису інформації про стани систем в параметричному просторі в рангову конфігурацію і провести її дослідження;
- розробити алгоритм кодування рангової інформації *DRP*-кодом;
- провести дослідження коригуючої здатності *DRP*-коду;
- розробити алгоритм локалізації і виправлення помилок в ранговому коді;
- розробити алгоритм декодування *DRP*-коду в рангову конфігурацію.

Об'єктом дослідження є процеси опису інформації про стани об'єктів управління ранговими конфігураціями, її кодування у вигляді *DRP*-кодів, передачу і декодування.

Предметом дослідження є моделі, пристрої і алгоритми кодування, передачі і декодування рангової інформації в системах прийняття рішень.

Методи дослідження. У процесі дослідження застосовувалися: теорія інформації та теорія кодування; теорія множин; дискретний аналіз; теорія ймовірностей; теорія алгоритмів; комп'ютерне моделювання для аналізу та перевірки достовірності отриманих теоретичних положень.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше запропоновано метод уніфікованого представлення інформації про стани об'єктів управління ранговими конфігураціями, що дозволяє уніфікувати алгоритми обробки інформації для прийняття рішень на управління;

2. Вперше запропоновано кодувати рангову інформацію потенціальними (DRP) кодами, які містять не тільки номінальну інформацію про стани об'єктів, а й інформацію про ранги відстаней між ними, що дає можливість підвищити пропускну здатність, завадостійкість та коригуючи здатність системи передачі інформації.

3. За результатами дослідження впливу завад на вигляд запропонованих кодів розроблено новий евристичний алгоритм локалізації і виправлення помилок в прийнятому коді, який дозволив підвищити надійність передачі рангової інформації в мережах систем автоматизації.

Практична цінність. Розроблені пристрій, алгоритми і програмне забезпечення дозволяють підвищити завадостійкість і інформаційну ємність каналів передачі інформації в системах управління і підвищити швидкість прийняття рішень.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується коректним застосуванням математичних методів під час доведення наукових положень, строгістю постановки задач, порівнянням результатів, отриманих за допомогою розроблених у роботі методів, з відомими, строгим виведенням аналітичних співвідношень, та збіжністю результатів математичного моделювання з результатами, що отримані під час впровадження розроблених програмних і апаратних засобів.

Особистий внесок здобувача. Більшість результатів отримано автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні положення й результати досліджень доповідалися й обговорювалися на Міжнародній науково-технічній конференції «КУСС-18 (м. Вінниця, 2018)»

Публікації. За тематикою дослідження опубліковано в репозиторії тези доповіді.

1 ВАРІАНТНИЙ АНАЛІЗ І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНИХ МЕТОДІВ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ

1.1 Суть технічної проблеми, яка виникла на сучасному етапі

Прийняття рішень в інтелектуальній системі автоматизації на основі інформації про рангову конфігурацію її станів (наприклад, про конфігурацію векторів звукотипів в системі розпізнавання мови) почасти здійснюється на великій відстані від джерела інформації. Тому виникає необхідність передачі цієї інформації у вигляді *DRP* кодів по каналу зв'язку. Передача завжди виконується в просторі і в часі. Однак, в залежності від того, який фактор є визначним, розрізняють передачу інформації на відстані і передачу в часі або зберігання інформації. Два види передачі мають багато спільного і часто використовують в процесі реалізації подібні методи – завадостійке кодування, модуляцію, тощо [1].

З передачею інформації пов'язаний ряд проблем:

а) збільшення ефективності передачі, в тому числі збільшення швидкості передачі інформації по каналу зв'язку, для чого потрібна розробка методів ефективного кодування;

б) підвищення надійності передачі шляхом використання корегуючи кодів, завадостійких видів модуляції, застосування методів завадостійкого прийому;

в) ефективне використання багатоканальних систем передачі.

Інформація, що отримується в результаті вимірювання, передається як аналоговими, так і цифровими сигналами. Більша увага при цьому виділяється питанням збереження точності інформації. Системи передачі даних служать для вводу інформації в обчислювальні машини.

При передачі інформації застосовуються тільки кодові сигнали, які використовуються для дискретного управління об'єктами. Тут ставиться задача забезпечення високої надійності передачі.

1.1.1 Інформаційна модель каналу

Для аналізу інформаційних можливостей зручно користуватися узагальненою інформаційною моделлю каналу зв'язку, представленої на рис. 1.1.

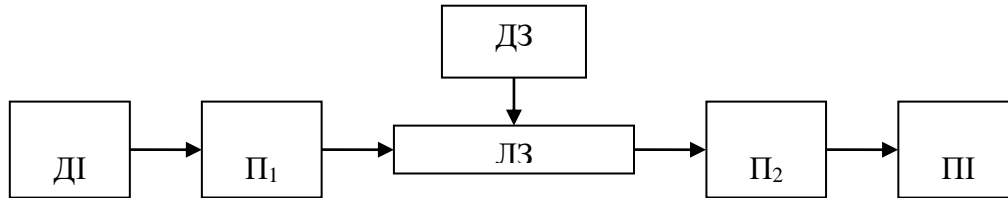


Рисунок 1.1 – Інформаційна модель каналу зв'язку: ДІ – джерело інформації; П₁, П₂ – перетворювачі інформації; ДЗ – джерело завад; ЛЗ – лінія зв'язку; ПІ – приймач інформації

Джерело інформації ДІ створює сигнали z , які після кодування і модуляції в перетворювачі П₁ перетворюються на сигнали x і надходять в лінію зв'язку ЛЗ. Для зручності сигнали джерела будемо називати повідомленнями, а сигнали x в лінії зв'язку - просто сигналами. В результаті дії перешкод сигнал u на приймальній стороні може відрізнитися від x . Перешкоди мають випадковий характер і підкоряються статистичним законам. Зручно умовно вважати, що перешкоди створюються деяким уявним джерелом завад ДЗ з певними статистичними властивостями і надходять в лінію зв'язку u в вигляді сигналу ξ . Приймальна частина містить перетворювач П₂, демодульовані і декодовані прийняті сигнали y , і приймач інформації ПІ, що переробляє прийняті повідомлення i . Якщо канал використовується для передачі кодоімпульсних сигналів, він називається дискретним. Якщо ж сигнали, що передаються, мають безперервний характер, канал називається безперервним [1].

Для організації ефективною передачі інформації по каналу необхідне вирішення наступних завдань: визначення максимально можливої швидкості передачі інформації з каналу; розробка кодів, що дозволяють збільшити швидкість передачі інформації; узгодження каналу з джерелом для передачі інформації з мінімальними втратами. Вирішення цих завдань залежить від властивостей джерел, рівня і характеру перешкод.

Якщо рівень перешкод малий і спотвореннями сигналу можна знехтувати, канал називається каналом без перешкод.

Відзначимо, що якщо джерело інформації виробляє безперервну функцію $z(t)$, то шляхом її дискретизації по осі часу t і квантуванням можна перейти від безперервного каналу до дискретного.

Дискретне джерело інформації характеризується алфавітом символів $Z=(z_1, z_1, \dots, z_n)$, з яких будуються повідомлення, і ймовірностями створення окремих символів (які можуть залежати від того, які символи були передані раніше).

Перетворювач Π_1 містить пристрій кодування, що перетворює повідомлення z в сигнали x , які складаються з символів іншого алфавіту $X=(x_1, x_2, \dots, x_m)$, (в окремому випадку алфавіт X може збігатися з алфавітом Z , тобто $m=n$).

Статистичні властивості джерела сигналу, якими є вся схема на вході лінії зв'язку (джерело інформації плюс перетворювач), у загальному випадку відрізняються від статистичних властивостей джерела повідомлень.

У разі безперервного повідомлення перетворювач Π_1 може містити моделюючий і перетворюючий пристрої, що змінюють статистичні характеристики безперервного сигналу [1].

Найважливішою характеристикою каналу є пропускна здатність C , яка визначається як найбільша можлива швидкість передачі інформації з даного каналу.

$$C = \nu_x \max\{I(Y, X)\}. \quad (1.1)$$

Тут через ν_x позначена гранична швидкість передачі по каналу елементарних сигналів. Цю швидкість можна виразити через середню тривалість символів сигналу τ_x , що передається.

$$\nu_x = 1/\tau_x. \quad (1.2)$$

При однаковій тривалості τ_x всіх переданих символів $\tau_x = \tau_x$. Але в ряді випадків символи можуть мати різну тривалість, наприклад при телеграфній передачі. Тоді обчислюється τ_x . Через $\max\{I(Y, X)\}$ позначено максимально можливе

середнє значення кількості інформації, що міститься в одному символі прийнятого сигналу. Максимум функціоналу $I(Y,X)$ визначається на множині функцій розподілу ймовірностей $\{p(x)\}$ між символами алфавіту X (або інших можливих алфавітів) джерела сигналів. Кількість інформації $I(Y,X)$, що переноситься одним символом, рівно зменшенню ступеня невизначеності нашого знання про сигнал в результаті прийому. Невизначеність не усувається повністю, так як прийнятий сигнал може виявитися спотвореним завадами. Ця кількість інформації дорівнює:

$$I(Y, X) = H(X) - H(X/Y), \quad (1.3)$$

де $H(X)$ - ентропія джерела сигналів, що характеризує середню невизначеність переданого сигналу до прийому; $H(X|Y)$ - середня умовна ентропія сигналів x при відомих прийнятих сигналах y , що характеризує залишкову середню невизначеність переданих сигналів, якщо відомі приймаються [2].

Звідси видно, що середня кількість інформації, що міститься в символі, залежить від розподілу ймовірностей між можливими символами, що виробляються джерелом сигналів, і від характеру та рівня шумів, які визначають умовну ентропію $H(X|Y)$.

Швидкість v_x визначається тільки властивостями каналу і не залежить від джерела сигналів. Те ж саме можна сказати і про значення $\max\{I(Y,X)\}$, яке не залежить від застосовуваного джерела, так як є максимумом середньої інформації, яка може бути передана по каналу, одним символом при оптимальному джерелі.

Таким чином, пропускна здатність залежить виключно від каналу.

1.1.2 Підвищення завадостійкості передачі інформації

Підвищення завадостійкості є однією з найбільш важливих завдань передачі інформації. Збільшення завадостійкості не дається задарма. Воно пов'язане з введенням певної надлишковості, тобто зі збільшенням обсягу сигналу. Якщо ємність каналу це допускає, можуть бути вжиті заходи, що підвищують надійність передачі. Відзначимо деякі з них [1].

1. Збільшення потужності сигналу. Це призводить до додаткового перевищення L_x сигналу над перешкодою й відповідному збільшенню обсягу сигналу.

2. Застосування завадостійких видів модуляції. Велика завадостійкість окремих видів модуляції досягається або завдяки широкому спектру F_x модульованого сигналу (частотна, фазова, фазо-імпульсна та інші види модуляції), або шляхом збільшення часу T_x передачі (наприклад, при використанні для кодоімпульсної модуляції досить широких імпульсів, що зменшує спектр, але збільшує тривалість передачі).

3. Застосування завадостійких методів прийому. Застосування різних методів фільтрації сигналу, що приймається, збільшує завадостійкість, але пов'язане зі збільшенням часу прийому, і тому вимагає збільшення часу передачі T_x .

4. Застосування каналів зі зворотним зв'язком. Якщо є можливість встановити додатковий канал зв'язку між пристроєм передачі і пристроєм прийому або такий канал вже існує, то його можна використовувати як канал зворотного зв'язку. У ряді випадків зворотний канал може мати більшу надійність, ніж прямий, або у зв'язку з малим об'ємом інформації, переданої по ньому, що дає можливість використовувати завадостійкі методи передачі, або у зв'язку з різницею характеристик цих каналів (приймально-передавальних засобів). Ця обставина дозволяє підвищити надійність прямої передачі. За каналу зворотного зв'язку може передаватися або прийматися весь обсяг інформації з метою контролю роботи прямого каналу і вживання заходів з підвищення достовірності передачі, або тільки інформація про сумнівні сигнали, які потрібно повторити. В останньому випадку на приймальній стороні включається вирішальний пристрій, що дає висновок про те, який сигнал був переданий. Якщо впевненість у переданому сигналі досить велика, зворотний сигнал не посиляється, якщо ж впевненість недостатня, робиться запит на повторну передачу. Робота такої системи нагадує телефонну розмову, коли абонент перепитує неясні слова чи фрази, в той час як роботу системи першого типу можна порівняти з розмовою, коли слухач повторює всі без винятку фрази, а той, що повідомляє, робить висновок про якість роботи лінії і ступінь сприйняття. Системи передачі першого типу

називаються системами з інформаційним зворотним зв'язком, системи другого типу - системами з вирішальним, або керуючим зворотнім зв'язком. У останніх можуть ефективно застосовуватися статистичні методи прийому, наприклад послідовний аналіз, що дозволить значно збільшити завадостійкість. Підвищення завадостійкості пов'язано в даному випадку з ускладненням обладнання (два канали замість одного) і збільшенням часу передачі T_x .

Завдання завадостійкого прийому полягає у використанні надмірності, а також наявних відомостей про властивості і характеристики сигналу і каналу для збільшення ймовірності правильного прийому [1].

Фізичні модульовані сигнали будемо позначати: u_x - переданий сигнал, u_ξ - завади, u_y - прийнятий сигнал. Для визначеності будемо розглядати звичайну задачу що зустрічається при прийомі кодових сигналів. Припустимо, маємо двійковий сигнал $u_x(t)$ у вигляді імпульсу або відрізка синусоїди, амплітуда якого може приймати два значення 0 і U_{xm} , з відповідними кодами 0 і 1. В процесі передачі на сигнал $u_x(t)$ накладається перешкода $u_\xi(t)$, в результаті чого приймається спотворений сигнал.

$$u_y(t) = u_x(t) + u_\xi(t). \quad (1.4)$$

Завдання полягає в тому, щоб визначити, чи міститься в прийнятому сигналі $u_y(t)$ корисний сигнал $u_x(t)$ або $u_y(t)$ являє собою тільки шум. Таке завдання називають задачею виявлення сигналів. Задача виявлення не має точного рішення, оскільки завжди є імовірність (хай мала), що великий сплеск шуму буде ототожнений з корисним сигналом.

Для зменшення ймовірності помилки може бути вироблено таке перетворення сигналу $u_y(t)$, що збільшить відношення корисної складової до завади. Такого типу перетворення будемо називати фільтрацією. Таким чином, структурну схему приймального пристрою (рисунок 1.2) можна представити у вигляді послідовного з'єднання фільтру Φ і вирішального пристрою P .

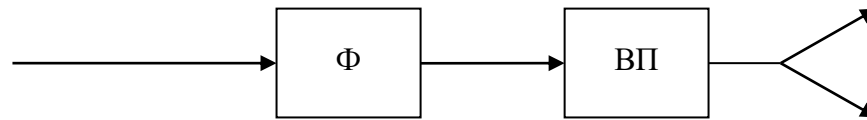


Рисунок 1.2 – Структурна схема приймача сигналу:

Ф – фільтр; ВП – вирішальний пристрій

На вхід фільтра надходить сигнал $u_y(t) = u_x(t) + u_\xi(t)$ у якому корисна складова, пов'язана з $u_x(t)$, а шум пов'язаний з $u_y(t)$ [3].

5. Застосування завадостійкого кодування. Завадостійке кодування завжди пов'язане з введенням надлишкових символів в код переданого повідомлення. Ці символи дозволяють на приймальній стороні виявити і виправити помилки. Введення додаткових символів збільшує або час передачі T_x , або частоту f_m передачі символів коду, що призводить до розширення спектру F_x , або те й інше одночасно.

1.2 Способи вирішення технічної проблеми

1.2.1 Підвищення завадостійкості і інформаційної ємності за рахунок запропонованого методу представлення і кодування інформації

В роботах [2,3,4] показано, що важливою інформацією в системах управління для реалізації процедури ідентифікації станів і прийняття рішення є рангові відношення між цими станами, а не самі відстані між ними. Для опису рангового відношення відстаней між станами системи введено поняття рангової конфігурації. Від методу опису рангових конфігурацій для прийняття рішень і комп'ютеризованого аналізу даних залежить ефективність їх застосування. Тому був розроблений ефективний щодо обчислювальних затрат двійковий метод кодування, який визначає не тільки самі об'єкти (стани), а і інформацію про ранги відстаней між ними. Такий код названо потенціальним або DRP-кодом (кодом, що зберігає ранги відстаней). На основі розв'язання практичних задач (ідентифікація станів систем, розпізнавання образів) було доведено, що використання запропонованих кодів дозволяє уодноманітнити алгоритми прийняття рішень в системах управління

з різними методами опису вхідних даних – можливісним, детерміністичним, нечітким, імовірнісним, наближеним, та інш.

Моніторинг систем управління передбачає передачу інформації по каналу зв'язку. Існуючі системи передачі інформації використовують коди, що реалізують розрізнення даних і підвищують ефективність та завадостійкість передачі інформації в каналах зв'язку (наприклад, коди Ріда-Соломона, рангові коди та інш.).

Слід зазначити що у таких пристроїв передачі є ряд недоліків а саме: у випадку передачі інформації про ранги відстаней між об'єктами яка необхідна для прийняття рішень в системі управління, обмежується швидкість передачі з причини необхідності передачі по каналу зв'язку додатково до m кодів об'єктів ще $m(m-1)/2$ кодів рангів відстаней.

З іншого боку, запропоновані потенціальні (DRP) коди дозволяють значно підвищити пропускну здатність каналу передачі при такому поданні інформації, оскільки кодові слова містять інформацію як про самі стани об'єктів, так і про ранги відстаней між ними. Застосування таких кодів для передачі інформації про стани систем по каналах зв'язку має обмеження, пов'язані із різким збільшенням розрядності DRP-кодів за умов збільшення кількості станів систем, та з особливостями застосування операцій кодування і декодування рангових конфігурацій систем [5].

Для усунення згаданих обмежень і підвищення пропускну здатності каналу передачі в роботі розглядається метод передачі інформації, що використовує додаткові властивості запропонованих кодів. Ці властивості впливають з того факту, що за своєю природою потенціальні коди є перестановочними кодами з постійною вагою.

Завадостійкість передачі підвищується за рахунок того, що DRP-код є за своєю природою кодом з постійною вагою (КПВ). Вірогідність P_n невиявлення однієї помилки в кодовому слові (сумісна вірогідність перетворення одного нуля в одиницю і однієї одиниці в нуль) для КПВ, а отже, і DRP -коду дорівнює [6]:

$$P_n = \binom{m-1}{1} p(1-p)^{m-2} \binom{n-m+1}{1} p(1-p)^{n-m}, \quad (1.5)$$

де m - кількість слів у коді. Для рангової конфігурації з чотирьох станів кількість кодованих символів $m=4$, кількість рангів відстаней між станами (розрядність коду) $n = \frac{m(m-1)}{2} = \frac{4 \cdot 3}{2} = 6$. Кількість одиниць в *DRP*-коді даної конфігурації дорівнює $(m-1)=3$. Ймовірність перетворення в кодовому слові однієї з трьох одиниць в нуль дорівнює $C_3^1 p_0(1-p_0)^2$, а ймовірність перетворення одного з трьох нулів в одиницю складає $C_3^1 p_0(1-p_0)^2$. Користуючись теоремою множення ймовірностей сумісних незалежних подій, отримуємо для *DRP*-коду:

$$P_{nDRP} = C_3^1 p_0(1-p_0)^2 C_3^1 p_0(1-p_0)^2 = 9p_0^2(1-p_0)^4, \quad (1.6)$$

де m - кількість одиниць у кодовому слові, n - кількість символів (розрядів) у слові. Визначимо цю характеристику для стандартного КПВ МТА-3 і порівняємо з (1.6). Для КПВ МТА-3, який містить в кодовому слові 3 одиниці і 4 нулі ($m=3$, $n=7$) з формули (1.5) маємо:

$$P_{nKPV} = C_3^1 p(1-p)^2 C_4^1 p(1-p)^3 = 12p^2(1-p)^6. \quad (1.7)$$

Прийнявши значення $p = 1 \cdot 10^{-4}$, одержимо для КПВ $P_{nKPV} \approx 12 \cdot 10^{-8}$, для *DRP*-коду $P_{nDRP} \approx 9 \cdot 10^{-8}$. Оскільки для *DRP*-коду одиниця повинна бути не виявлена одночасно в двох кодових словах, то $P_{nDRP} \approx 81 \cdot 10^{-16}$.

Знайдемо відношення

$$\frac{P_{nKPV}}{P_{nDRP}} = \frac{12 \cdot 10^{-8}}{81 \cdot 10^{-16}} \approx 0,15 \cdot 10^8. \quad (1.8)$$

де P - вірогідність однієї помилки для симетричного каналу.

З виразу (1.8) бачимо, що надійність передачі рангової інформації з використанням DRP -коду на декілька порядків вище, чим стандартним КПВ кодом.

Інформаційні характеристики даної системи передачі інформації визначаються кількістю інформації і інформаційна ємністю. Кількість інформації I_T визначає інформативну здатність джерела і визначається як

$$I_T = \log_2 \left(\frac{m(m-1)}{2}! \right),$$

де m - кількість кодованих об'єктів (різних кодових слів). З останнього виразу видно, що кількість переданої інформації зростає з кількістю кодованих елементів.

Під інформаційною ємністю DRP коду I_C розумітимемо відношення кількості Q_r прийнятих інформаційних слів до кількості Q_T переданих кодових слів:

$$I_C = \frac{Q_r}{Q_T} = \frac{m + K_m \cdot n}{m \cdot K_m}, \quad (1.9)$$

де

$$n = \frac{m(m-1)}{2} -$$

кількість рангів в конфігурації, яка і визначає розрядність коду.

Для прикладу, при передачі DRP -кодом 30 різних рангових конфігурацій чотиривимірного симплексу треба передати $Q_T = 4 \times 30 = 120$ слів, з яких можна вибрати $Q_r = 4 + 30 \cdot 6 = 184$ інформаційних слова, звідки $I_C = 184/120 \approx 1,53$.

Коефіцієнт підвищення пропускної здатності каналу різко збільшується із збільшенням кількості станів системи, про які передається інформація (це може бути, наприклад, інформація про просторову конфігурацію цілей противника, про розміщення мобільних абонентів в бездротовій мережі, про стан нейронної мережі

та багато інш.). Наприклад, для системи з 4 станами пропускна здатність каналу підвищується порівняно з відомими методами передачі в 10 раз, для системи з 10 станами – в 55 раз.

1.2.2 Підвищення ефективності прийняття рішень за рахунок запропонованого методу представлення і кодування інформації

Оскільки основна ідея використання запропонованого методу представлення і кодування інформації про стани систем полягає в уніфікації алгоритмів прийняття рішень за умови опису цих станів в різних параметричних просторах та підвищення їх ефективності, проаналізуємо переваги запропонованого методу над відомими на сьогодні.

Найбільш близьким по технічній суті до запропонованого рішення є спосіб розпізнавання образів, відповідно якому сприймається неперервний образ, що надійшов на вхід системи розпізнавання, перетворюють неперервний образ в послідовність елементів, формують двійковий опис послідовності елементів, що розпізнаються у вигляді двійкових кодів, що зберігають різниці, і виконують класифікацію по мінімуму відстаней до однієї з еталонних послідовностей, для чого проводять логічне порівняння розпізнаваної і еталонної послідовності елементів, визначають відстані Хемінга між ними, і на основі отриманих результатів приймають рішення про розпізнаний образ [43].

Недоліками даного способу являються обмеження об'єму словника образів, що розпізнаються, яке обумовлене можливістю обмеженням швидкодії через необхідність обчислення відстаней Хемінга, а також виникнення помилок через властивості кодів, що зберігають різниці. Наприклад, якщо елементи образу позначити символами типу «ціле», то для двійкового коду, що зберігає різниці, виконуються наступні умови:

$$1) \text{ з } |i - j| \leq t \text{ настає } H(D_i, D_j) = |i - j|,$$

$$2) \text{ з } |i - j| < t \text{ настає } H(D_i, D_j) \neq |i - j|,$$

де $i, j \in \{1, 2, \dots, N\}$ – цілі числа (символи елементів); t - поріг, заданий цілим числом; D_i, D_j - двійкові коди елементів i, j , які скорочують різницю; $H(D_i, D_j)$ - відстань Хемінга між двома кодовими словами. При цьому для всякої трійки образів $\{O_{k1}, O_{k2}, O_{k3}\}$, описаної у вигляді рядків символів

$$O_{k1} = j_1 + 1, j_2 + 1, \dots, j_m + 1;$$

$$O_{k2} = j_1, j_2, \dots, j_m;$$

$$O_{k3} = j_1 - 1, j_2 - 1, \dots, j_m - 1,$$

Хемінгові відстані $H(O_{k1}, O_{k2})$ і $H(O_{k2}, O_{k3})$ рівні між собою. Вказана невизначеність призводить до помилок в розпізнаванні при наявності в словникові образів з вказаними описами.

Нехай алфавіт A елементів, з яких складаються образи, які розпізнаються, має п'ять елементів, які умовно позначимо цифрами від 1 до 5:

$$A = \{1, 2, 3, 4, 5\}.$$

Двійковим кодом D , що зберігає різниці, буде множина двійкових кодів

$$D = \{0000, 0001, 0011, 0111, 0110\}. \quad (1.10)$$

Двійковим кодом B , що зберігає ранги відстаней між елементами, може бути, наприклад, множина двійкових кодів:

$$B = \{0011, 0010, 0001, 0111, 1011\}. \quad (1.11)$$

Вигляд двійкового RP-коду залежить від просторової конфігурації елементів. Якщо образи O_1, O_3 представлені послідовностями елементів

$O_1=(1,2,3)$, $O_3=(3,4,5)$, а пред'явлена реалізація образу описується послідовністю елементів $O_2=(2,3,4)$, то їх двійкове представлення D-кодом буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} \mathbf{O}_1' &= \overbrace{0000}^1 \quad \overbrace{0001}^2 \quad \overbrace{0011}^3 \\ \mathbf{O}_2' &= \overbrace{0001}^2 \quad \overbrace{0011}^3 \quad \overbrace{0111}^4 \\ \mathbf{O}_3' &= \overbrace{0001}^3 \quad \overbrace{0111}^4 \quad \overbrace{1011}^5 \end{aligned}$$

Відстань Хемінга для даних послідовностей $H(\mathbf{O}_1^\nabla, \mathbf{O}_2^\nabla) = H(\mathbf{O}_2^\nabla, \mathbf{O}_3^\nabla) = 3$,

тобто образи O_1 і O_3 стають нерозміченими по відношенню до реалізації O_2 , що може привести до помилки класифікації.

Двійкове представлення образів RP-кодом буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} \mathbf{O}_1^* &= \overbrace{0011}^1 \quad \overbrace{0010}^2 \quad \overbrace{0001}^3 \\ \mathbf{O}_2^* &= \overbrace{0010}^2 \quad \overbrace{0001}^3 \quad \overbrace{0111}^4 \\ \mathbf{O}_3^* &= \overbrace{0001}^3 \quad \overbrace{0111}^4 \quad \overbrace{1011}^5 \end{aligned}$$

Відстані S , отримані при логічному порівнянні шляхом додавання по модулю два двійкових послідовностей, будуть рівні:

$$S(O_1^*, O_2^*) = 000100110110$$

$$S(O_2^*, O_3^*) = 001101101100,$$

при цьому $S(O_2^*, O_3^*) > S(O_1^*, O_2^*)$, тому пред'явлена реалізація образу O_2 може бути розпізнана лише як образ O_1 .

З приведенного прикладу видно, що формування двійкового опису послідовності елементів, що розпізнаються, у вигляді двійкових кодів, що ранги відстаней між елементами, усуває обмеження на порядок слідування елементів послідовності, який описує образ. Це дозволяє розширити словник розпізнаваних образів до розмірів, обмежених лише технічними можливостями пристрою розпізнавання і незалежними від способу розпізнавання образів.

Виконання класифікації образу згідно запропонованого способу не потребує обчислення відстані Хемінга після логічного порівняння розпізнаваної і еталонної послідовностей елементів, які описують образи. У відомому способі необхідність розрахунку таких відстаней існує. Сума одиниць в двійковій послідовності, яка визначає відстань Хемінга, може бути підрахована апаратним або програмним способом. При апаратній реалізації підрахунку кількість одиниць, часові затрати на визначення відстані Хемінга будуть визначатися виразом:

$$T_x = t \cdot n \cdot m \cdot p,$$

де t – тривалість тактового періода;

n – розрядність двійкового D-кода;

m – число елементів в послідовності;

p – кількість образів в словнику образів, що розпізнаються.

Виграш δ в швидкодії розпізнавання згідно запропонованого способу може бути охарактеризований скороченням часових витрат на обчислення Хемінгових відстаней:

$$\delta = \frac{T_u}{T_n} \cdot 100\% = \frac{T_u}{T_u - T_x} \cdot 100\% = \frac{T_u}{T_u - t \cdot n \cdot m \cdot p} \cdot 100\%,$$

де T_n – час розпізнавання по запропонованому способу;

T_u – час розпізнавання по відомому способу.

Наприклад, для випадку розпізнавання мовних образів акустичний сигнал, який відповідає одному слову, може бути перетворений в послідовність, яка складається в середньому з 10 фонемоподібних елементів, а число розпізнаваних образів у словнику в середньому складає 200 слів, при цьому середня тривалість слова складає приблизно 0.8 сек. Розрядність D-коду для кодування алфавіту А, який містить 40-60 фонемоподібних елементів, визначається співвідношенням $n \geq 7$. Якщо час розпізнавання по відомому способу T_u прийняти рівним приблизно реальному часу пред'явлення мовного образу, $T_u \approx (1 \div 1,2) T_p$, що характерно для найбільш досконалих пристроїв розпізнавання мови, а тривалість t тактового періоду прийняти рівною 2 мксек, (що справедливо, наприклад, для мікропроцесорів середньої продуктивності), то виграш в швидкодії буде чисельно дорівнювати:

$$\delta = \left(1 - \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 7 \cdot 10 \cdot 200}{0,8} \right) \cdot 100\% \approx 104\%.$$

1.3 Висновки

Проведений в даному розділі варіантний аналіз способів представлення, кодування і передачі інформації про стани об'єктів систем автоматизації показав, що запропонований автором метод опису ранговими конфігураціями і кодування їх ранговими кодами дозволяє уніфікувати алгоритм обробки інформації для

прийняття рішень, підвищити завадостійкість передачі даних і інформаційну ємність каналу зв'язку, підвищити точність прийняття рішень. Для реалізації запропонованих методів в магістерській роботі потрібно вирішити наступні задачі:

- розробити структуру системи передачі рангової інформації;
- розробити математичну модель кодера опису інформації про стани систем в параметричному просторі в рангову конфігурацію;
- розробити алгоритм кодування рангової інформації *DRP*-кодом;
- провести дослідження коригуючої здатності *DRP*-коду;
- розробити алгоритм локалізації і виправлення помилок в ранговому коді;
- розробити алгоритм декодування *DRP*-коду в рангову конфігурацію.

2 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ І ЙОГО МАТЕМАТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

2.1 Розробка математичних моделей рангових конфігурацій і рангових кодів

Очевидно, що загальноприйнятий підхід до кодування має ті недоліки, що потребує додаткових апаратних затрат на зберігання $m_h^*(m_h-1)$ кодів відстаней, а також значно обмежує швидкість передачі інформації через втрати часу на передачу по каналу цих відстаней. В зв'язку з цим нами запропонований такий спосіб двійкового представлення компонент векторів (станів систем) w_i, w_j , при якому інформація про відстані між компонентами s_k^i і s_k^j векторів w_i і w_j містилась би в їх кодах. При цьому величина відстані визначається безпосередньо в арифметико - логічному пристрої шляхом порівняння кодів за допомогою операції "Г".

Визначення 1. Ранговою конфігурацією \mathfrak{R} простору m об'єктів називають множину $(m-1)$ - елементних підмножин, елементами цих підмножин є ранги відстаней, інцидентних одному і тому ж об'єкту.

Рангову конфігурацію можна отримати, якщо розмістити відстані між об'єктами у просторі параметрів в порядку зростання, а потім присвоїти їм ранговий номер.

Визначення 2. Код B , який зберігає ранги відстаней (*DRP*-код, по іншому потенціальний код), є відображення $i \rightarrow B_i$ множини $M = \{1, 2, \dots, m\}$ в множину $\{0, 1\}^n$ двійкових послідовностей довжини n таке, що

$$\forall_{i,j} (R(d_{ij}) = r \Rightarrow R(h_{ij}) = r), \quad r = \overline{1, m_r}, \quad i, j \in M. \quad (2.1)$$

У виразі (2.1) $R(d_{ij})$ - ранг відстаней d_{ij} між об'єктами i і j в просторі об'єктів; $R(h_{ij})$ - ранг відстані h_{ij} в просторі двійкових кодів; r - ціле число, конкретне значення рангу; m_r - максимальна величина рангу. В подальшому, під кодованими об'єктами будемо мати на увазі елементи систем.

На даному етапі, якщо не вникати у властивості початкового простору об'єктів, можна цілком сказати що мова йтиме про двійкове зображення за допомогою *DRP*-коду метричних просторів (станів систем) з заданим відношенням строгого порядку на лінійно впорядкованій множині відстаней між об'єктами, або просторів з відношенням нестрогого порядку, коли ранги рівних відстаней інцидентні одному й тому самому об'єкту.

Потрібно зразу зауважити, що потенціальний код може проектуватися для двох різних застосувань. Перше з них пов'язано з задачами ідентифікації станів систем (наприклад, задачі кластеризації), друге – з задачами розпізнавання рядків символів, перешкодостійкої передачі інформації та інш. В першому випадку виконання аксіоми ідентичності $R(d_{ii})=0$ при обчисленні рангів відстаней між кодами станів не потрібно, оскільки відстані між одними ж і тими ж точками не обчислюються. У даному розгляді ранг відстані $R(h_{ij})=0$ між двійковими словами b_i і b_j *DRP* - коду знаходиться за допомогою мультиплікативної операції логічного множення AND і визначається виразом:

$$R(h_{ij}) = \log_2(b_i \wedge b_j), \quad (2.2)$$

де символом \wedge позначена операція AND.

В другому випадку код повинен проектуватися з урахуванням адитивної операції XOR (“виключне АБО”).

Розглянемо моделі рангових конфігурацій, необхідні для визначення характеристик потенціального коду у першому випадку. Для їх представлення були

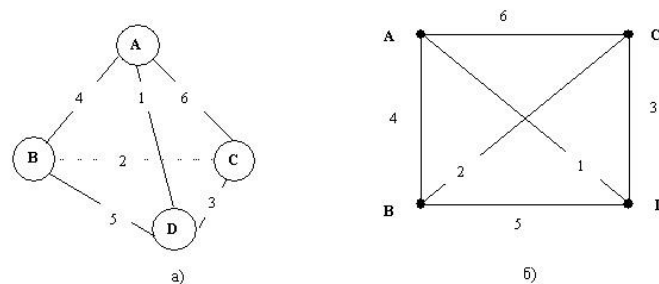


Рис. 2.1 - Геометричні моделі рангової конфігурації: а – тривимірний симплекс;
б – повний регулярний граф

розроблені геометричні, алгебричні, комбінаторні та топологічні моделі. До геометричних можна віднести багатомірні симплекси, до топологічних – граф. На рис.2.1 зображено рангову конфігурацію у вигляді тривимірного симплекса і графа.

Симплекс та граф дають зорову уяву про рангову конфігурацію. На рис.2.1 вершини **A, B, C, D** позначають кодовані об'єкти, а числа на ребрах симплекса і дугах графа - інцидентні їм ранги.

Алгебрична модель дає можливість компактно описати рангову конфігурацію у відповідності з **Визначенням 1** у вигляді набору підмножин рангів. Наприклад, рангову конфігурацію рис.2.1 можна записати в алгебричному вигляді як

$$K_4 = \{ \{1, 4, 6\}, \{2, 4, 5\}, \{2, 3, 6\}, \{1, 3, 5\} \} . \quad (2.3)$$

Ранги

Об'єкти		6	5	4	3	2	1
	A	1	0	1	0	0	1
	B	0	1	1	0	1	0
	C	1	0	0	1	1	0
	D	0	1	0	1	0	1

а)

	A	B	C	D
A		4	6	1
B	4		2	5
C	6	2		3
D	1	5	3	

б)

Рисунок 2.2 - Комбінаторні моделі рангової конфігурації: а) – матриця інцидентностей графа рис.2.1, б) – матриця суміжностей рангів для графа рис.2.1,б

Комбінаторні моделі конфігурацій можна подати у вигляді t – схем і блок-схем, які широко використовуються в теорії кодування [5], а також перестановок на матриці суміжностей рангів графа. Детальний розгляд t – схеми і її різновиду блок-схеми показав, для моделювання рангових конфігурацій є непридатними, оскільки не виконується одна з умов, що характеризує можливість застосування такої моделі [3,4]. Тому в якості комбінаторних моделей в роботі використані матриця

інцидентності графа (рис. 2.2,а), та матриця суміжностей рангів цього графа (рис. 2.2,б).

Вказані комбінаторні моделі дозволяють визначити такі основні характеристики потенціальних кодів, як розрядність і повнота.

З матриці інцидентностей 2а) зразу видно, що розрядність потенціального коду n за умови визначення рангів логічною операцією “Г” дорівнюватиме кількості рангів:

$$n = \frac{m(m-1)}{2}, \quad (2.4)$$

де m - кількість кодованих об'єктів. Наприклад, для $m=4$ $n = \frac{4(4-1)}{2} = \frac{12}{2} = 6$, для $m=5$ маємо $n=10$ і т.д.

Матриця інцидентностей також дозволяє розробити **алгоритм 1** кодування об'єктів *DRP*-кодом, який складається з двох етапів:

- 1) Заповнення матриці розміром $m \times n$ нулями;
- 2) Перегляд матриці по стовпцях (рангах) і установка одиниці в тих стрічках, що відповідають об'єктам, інцидентним цим рангам.

На рис. 2.2,а рядки матриці суміжності графа утворюють кодові слова шуканого для заданої рангової конфігурації *DRP*-коду. Як приклад визначимо ранг відстані між кодovими словами символів A і D, для чого скористаємося виразом (2.2):

$$R(h_{AD}) = \log_2(b_A \wedge b_D) = \log_2(101001 \wedge 010101) = \log_2 2^1 = 1.$$

На практиці операція логарифмування для визначення точного рангу не потрібна, оскільки відстані між кодovими словами ранжуються операцією AND.

З моделі рис.2.2, а також видно, що за своєю формою *DRP*-код є перестановочним з постійною вагою. Виходячи з цього, для визначення його перешкодостійкості можемо скористатися відомими [17] для цих кодів залежностями. Вірогідність P_n невиявлення однієї помилки в кодовому слові

(сумісна вірогідність перетворення однієї одиниці в нуль і одного нуля в одиницю) для *DRP*-коду дорівнює:

$$P_n = \binom{m-1}{1} p(1-p)^{m-2} \binom{n-m+1}{1} p(1-p)^{n-m}, \quad (2.5)$$

де m - кількість слів у коді. Користуючись теоремою множення ймовірностей сумісних незалежних подій, отримуємо для *DRP*-коду:

$$P_{nDRP} = C_3^1 p_0 (1-p_0)^2 C_3^1 p_0 (1-p_0)^2 = 9 p_0^2 (1-p_0)^4, \quad (2.6)$$

де m - кількість одиниць у кодовому слові, n - кількість символів (розрядів) у слові. Визначимо цю характеристику для стандартного КПВ МТА-3 і порівняємо з (2.6). Для КПВ МТА-3, який містить в кодовому слові 4 нулі і 3 одиниці ($m=3$, $n=7$) з формули (2.5) маємо:

$$P_{nKPV} = C_3^1 p (1-p)^2 C_4^1 p (1-p)^3 = 12 p^2 (1-p)^6. \quad (2.7)$$

Прийнявши значення $p = 1 \cdot 10^{-4}$, одержимо для КПВ $P_{nKPV} \approx 12 \cdot 10^{-8}$, для *DRP*-коду $P_{nDRP} \approx 9 \cdot 10^{-8}$. Оскільки для *DRP*-коду одиниця повинна бути не виявлена одночасно в двох кодових словах, то $P_{nDRP} \approx 81 \cdot 10^{-16}$.

Знайдемо відношення

$$\frac{P_{nKPV}}{P_{nDRP}} = \frac{12 \cdot 10^{-8}}{81 \cdot 10^{-16}} \approx 0,15 \cdot 10^8.$$

Тобто, надійність передачі рангової інформації з використанням *DRP*-коду на декілька порядків вище, чим стандартним КПВ кодом.

Модель рангової конфігурації у вигляді матриці суміжності рангів дозволяє дійти висновку, що множину конфігурацій можна представити групою на наборі перестановок. Ця властивість дозволяє кодувати не тільки символи, але і конфігурації, і запам'ятовувати інформацію про них в згорнутому вигляді.

Потужність множини конфігурацій $(m-1)$ - вимірного симплекса дорівнює:

$$K_m = \frac{(m(m-1)/2)!}{m!} = \frac{n!}{m!}. \quad (2.8)$$

Для помічених об'єктів потужність множини рангових конфігурацій кількості перестановок рангів, що окремого доведення не потребує:

$$K_m = n!. \quad (2.9)$$

Зростання кількості конфігурацій за умови зростання кількості m символів відповідає закону “комбінаторного вибуху”. Наприклад, при $m = 4$ кількість рангових конфігурацій K_4 непоміченого симплексу відповідно до виразу (2.8)

$$K_4 = \frac{6!}{4!} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} = 30,$$

для п'яти символів $K_5 = 30240$, для шести символів $K_6 \approx 1,8 \cdot 10^9$. Ще швидше зростає кількість конфігурацій для поміченого симплексу, що видно з виразу (2.9), та свідчить про велику інформаційну потужність *DRP*-коду в той час коли користувач має потребу в інформації про відносини між елементами даних.

Якщо передавати не лише рангову конфігурацію, а її код, який відповідає номеру рангової перестановки, то пропускну спроможність каналу можна збільшити. Завдяки цьому можна забезпечити секретність коду C_R вибором одного

з можливих порядків перестановки рангів на матриці суміжності і визначиться вірогідністю вгадування номера цього порядку:

$$C_R = \frac{1}{n!}. \quad (2.10)$$

Адекватність моделей рангових конфігурацій, застосованих до визначення характеристик потенціальних точок, доведена аналітично, тому проведення експерименту з даної метою буде надлишковим.

Для доведення повноти кодів в другому випадку (для тих застосувань, які вимагають існування аксіоми ідентичності), розроблена топологічна інтервальна модель рангової конфігурації, приклад якої наведений на рис.2.3.

Дана модель представляє собою лінійний відрізок довжиною 2^q , де q - вибрана розрядність коду, поділений на одиничні інтервали, границі інтервалів відповідають цілим числам з діапазону $[0 \dots 2^q]$. На цьому відрізку укладені інтервали, які в промасштабованому вигляді відповідають рангам конфігурації. Для моделі справедливими є такі аксіоми.

Аксіоми різницевої операції:

- аксіома симетрії;

$$\forall_{i,j \in M} (b_i \oplus b_j) = (b_j \oplus b_i) = |b_i \oplus b_j| = h_{ij}; \quad (2.11)$$

- аксіома оберненості операції.

$$b_i \oplus h_{ij} = b_j; \quad b_j \oplus h_{ij} = b_i \quad (2.12)$$

Аксіоми рангових інтервалів:

- аксіома жорсткості інтервалів в циклі

$$h_{ij}(r_k) + h_{ij}(r_{k+1}) = h_{ij}(r_k + r_{k+1}) \quad (2.13)$$

- аксіома трикутника для рангів в циклі

$$r_k + r_{k+1} \geq r_c \quad (2.14)$$

де r_k і r_{k+1} - ранги k -го і $k+1$ -го інтервалів на моделі (ранги сусідніх інтервалів), r_c - ранг інтервалу, що замикає. Дані ранги позначені дугами на топологічному графові моделі (рис. 2.3,б). Поняття циклу на інтервальній моделі відповідає поняттю циклу на топологічному графові.

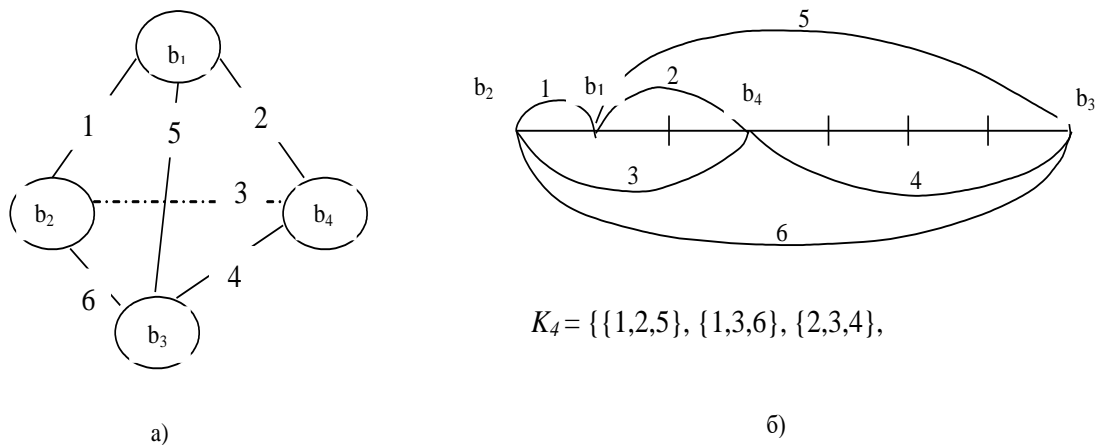


Рисунок 2.3 - Інтервальна модель рангової конфігурації

На основі інтервальної моделі сформульована і доведена наступна теорема.

Теорема: Допустимими є тільки ті рангові конфігурації, для яких виконуються аксіоми (2.13) і (2.14).

Як випливає з теореми, інтервальна модель тільки показує, що кількість рангових конфігурацій за умови використання операції XOR є обмеженою, що не дозволяє побудувати повний потенціальний код. Але вона не дає аналітичного виразу для визначення кількості можливих конфігурацій і методу побудови потенціального коду. Для оцінки адекватності цієї моделі був розроблений алгоритм, що базується на повному переборі всіх можливих сполучень з m по 2^q

кодів цілих двійкових чисел розрядністю q на інтервалі $[0 \dots 2^q]$. Машинний експеримент підтвердив, що DRP-код у цьому випадку є неповним. Наприклад, кількість дозволених рангових конфігурацій для 3-х вимірної симплекса (4 кодованих об'єкти) дорівнює 7 із 30 можливих, і коефіцієнт повноти коду відповідно дорівнює $7/30$, тобто приблизно 23,3%.

Тому автори пропонують у цьому випадку використовувати потенціальний код, спроектований на базі використання модифікованої логічної операції AND “з блокуванням за порогом 1”. Вона складається з логічної операції AND над потенціальними кодами об'єктів, отриманих **алгоритмом 1**, з наступним виконанням операції XOR над результатом. Якщо сума одиниць в результаті більша 1, то результат блокується до нуля, що дає можливість забезпечити виконання аксіоми ідентичності при визначенні рангу відстані між одними і тими ж об'єктами.

Для реалізації даної операції автором розроблено схему логічного елемента “І з самоблокуванням”, яка використовується в якості декодера DRP-коду 9 в схемі пристрою передачі інформації на рисунку 2.5. Функціональна схема даного логічного елемента представлена на рисунку 2.4.

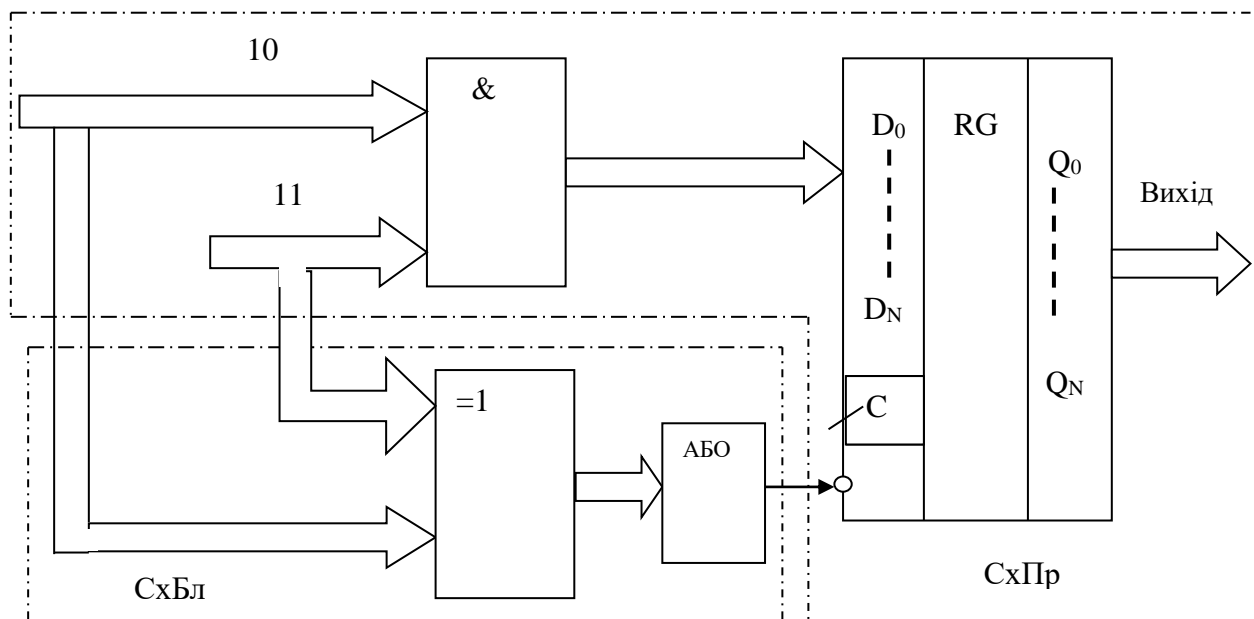


Рисунок 2.4 – Схема декодера DRP-коду

2.2 Розробка структурної схеми системи передачі інформації

В основу дипломної роботи поставлена задача розробки пристрою передачі інформації, в якому досягається можливість представлення інформації про рангову конфігурацію об'єктів, описаних в будь-якому з можливих параметричних просторів, за рахунок введення нових елементів та зв'язків, шляхом кодування DRP-кодом. Це призводить до усунення обмежень на кількість об'єктів у ранговій конфігурації, що підлягає кодуванню та збільшення завадостійкості передачі інформації.

Можливість усунення обмежень на кількість об'єктів у ранговій конфігурації та збільшити завадостійкість передачі інформації, досягається за рахунок використання джерела пристрою обчислення рангів відстаней між об'єктами у просторі координат в якості кодера, або штучної нейронної мережі (ШНМ) для випадку, коли стан об'єктів описується не координатами, а характерними параметрами (ознаками) в поєднанні з кодером каналу, що здійснює кодування рангової конфігурації DRP-кодом.

За рахунок того, що за своєю природою DRP-код є кодом з постійною вагою (КПВ) підвищується завадостійкість передачі. Як було попередньо показано, запропонований спосіб передачі інформації збільшує завадостійкість порівняно з аналогом на порядок і вище.

Поставлена задача вирішується тим, що інформація з джерела повідомлень кодується кодером джерела інформації в рангову конфігурацію, причому на вхід цього кодера під'єднується штучна нейронна мережа для отримання функції відстаней між кодованими елементами, після чого за допомогою кодера каналу кодується в DRP-код. На наступному етапі перетворюється в інформаційний сигнал в модуляторі, далі сигнал передається по каналу передачі, на виході каналу передачі сприймається приймачем сигналу, демодулятором демодулюється в кодовий сигнал, і перетворюється в рангову конфігурацію за допомогою декодера DRP-коду, яка використовується безпосередньо системою прийняття рішень для управління.

На рисунку 2.5 представлена структурна схема пристрою для реалізації способу передачі інформації.

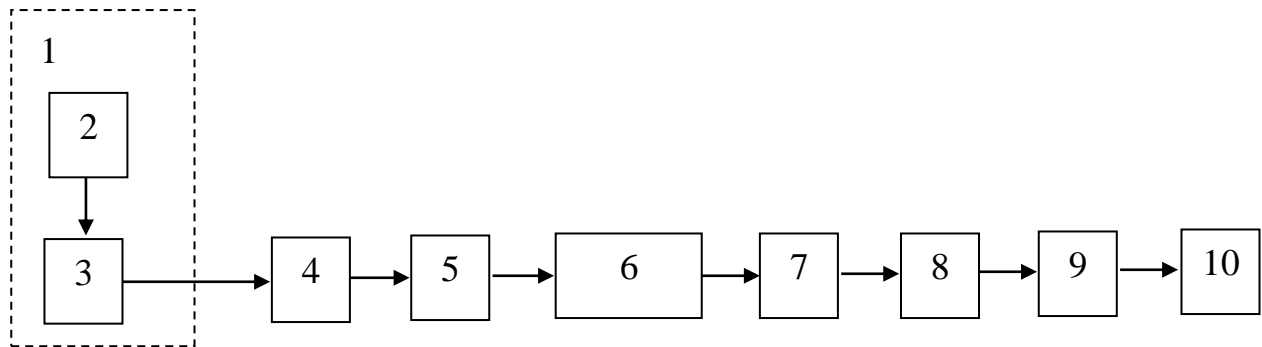


Рисунок 2.5 – Структурна схема пристрою передачі інформації

Пристрій вміщає джерело інформації 1, в нього входить джерело повідомлень 2 (група елементів або об'єктів) і кодер джерела інформації 3, джерело з'єднано з кодером каналу 4, даний канал під'єднано до входу модулятора сигналу 5, вихід якого в свою чергу з'єднано з входом каналу передачі інформації 6. Вихід каналу передачі інформації під'єднаний до входу приймача сигналу 7, вихід якого в свою чергу з'єднано з входом демодулятора сигналу 8, його підключено до декодера DRP-коду 9 та послідовно з'єднано з блоком прийняття рішень 10.

У ролі кодера джерела може застосовуватися штучна нейронна мережа (ШНМ) для випадку, коли стан об'єктів описується не координатами, а характерними параметрами (ознаками), або пристрій обчислення рангів відстаней між об'єктами у просторі координат.

Принцип роботи пристрою виглядає так: джерело інформації 1 з подальшими двома блоками складає єдине ціле, тому в ньому інформація з джерела повідомлень 2, надходить на кодер джерела інформації 3, де її перетворюють в рангову конфігурацію. У разі потреби під'єднується штучна нейронна мережа для отримання функції відстаней між кодованими елементами. Після чого з допомогою кодера каналу 4, отриману рангову конфігурацію кодують DRP-кодом. Далі на модулятор 5 надходить кодова послідовність, модулятор здійснює його пребудову в інформаційний сигнал, який переміщується по каналу передачі 6. Отже, в результаті

виконаних операції інформація переміщується до приймача сигналу 7 на виході каналу передачі, з нього вона потрапляє на демодулятор 8, який в кодову послідовність здійснює перетворення інформаційного сигналу. Отриманий код декодується декодером DRP-коду 9.

За допомогою порозрядної логічної операції “ Γ ”, під час декодування визначаються, ранги відстаней між станами системи, закодованими DRP-кодом, однак при цьому є вірогідність виникнення помилок. Це зумовлено тим, що під час визначення відстані між однаковими марками не виконується аксіома ідентичності. Згідно цього було запропоновано модифікувати дану логічну операцію таким чином, щоб для неї виконувалась аксіома ідентичності. Для цього була розроблена відповідна логічна схема, яка скидає результат порівняння однакових марок до нуля та сформульовано математичний опис операції. Модифікована операція була названа логічною операцією “ Γ з самоблокуванням”.

В результаті на блок прийняття рішень 10 надходить отримана інформація.

2.3 Математична модель кодера рангової інформації

Якщо стани системи описані в параметричному просторі, в якому введена деяка метрика, то спочатку визначають рангову конфігурацію станів цієї системи, а потім кодують їх DRP-кодом згідно алгоритму, розробленого в даній роботі. Якщо ж метрику ввести не можна (наприклад, у випадку системи розпізнавання образів), то в якості кодера автор запропонував використовувати штучну нейронну мережу (ШНМ).

2.3.1 Інтерпретація природної нейронної мережі

Відомо що в перше інтерес до нейромереж був обумовлений піонерською працею МакКалока і Питса, виданою у 1943 році, в якій була запропонована схема комп'ютера, заснованого на аналогії з роботою людського мозку. Вони створили спрощену модель нервової клітини – нейрон [8].

Мозок людин складається із білої і сірої речовин: біла - це тіла нейронів, а сіра

- це з'єднувальна тканина між нейронами, або інша назва аксони і дендрити. Мозок складається приблизно з 1011 нейронів, пов'язаних між собою. Кожний нейрон одержує інформацію через свої дендрити, а передає її далі тільки через єдиний аксон, який розгалужується на кінці на тисячі синапсів (рисунок 2.2).

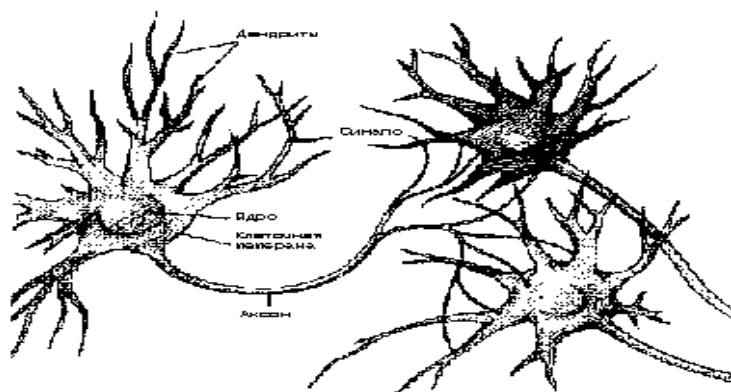


Рисунок 2.6 – Будова природної нейронної мережі

Найпростіший нейрон може мати до 10000 дендритів, що приймають сигнали від інших клітин. Таким чином, мозок містить приблизно 10¹⁵ взаємозв'язків. Якщо врахувати, що будь-який нейрофізіологічний процес активізує відразу множину нейронів, то можна уявити собі ту кількість інформації або сигналів, що виникає в мозку [8].

Нейрон взаємодіє за допомогою серії імпульсів, що тривають декілька мілісекунд, кожний імпульс являє собою частотний сигнал з частотою від декілька одиниць до сотень герц. Це дуже повільно в порівнянні із сучасним комп'ютером, але в теж час людський мозок набагато швидше машини може обробляти аналогову інформацію, наприклад: розпізнавання зображення, відчуття смаку, розпізнавання звуків, читання незнайомого почерку, оперування якісними параметрами, тощо. Все це реалізується за допомогою мережі нейронів, з'єднаних між собою синапсами. Іншими словами, мозок - це система з паралельних процесорів, що працюють набагато ефективніше, ніж популярні зараз послідовні обчислення.

2.3.2 Архітектура нейронних мереж

Сьогодні нейронні мережі представляють найбільший інтерес в області прийняття рішень. Вони використовують множину простих обчислювальних елементів, названих нейронами, кожний із яких імітує поведінку окремої клітини людського мозку. Прийнято вважати, що людський мозок – це природна нейронна мережа, а модель мозку – це просто нейронна мережа. На рисунку 2.7 показана базова структура такої нейронної мережі [9].

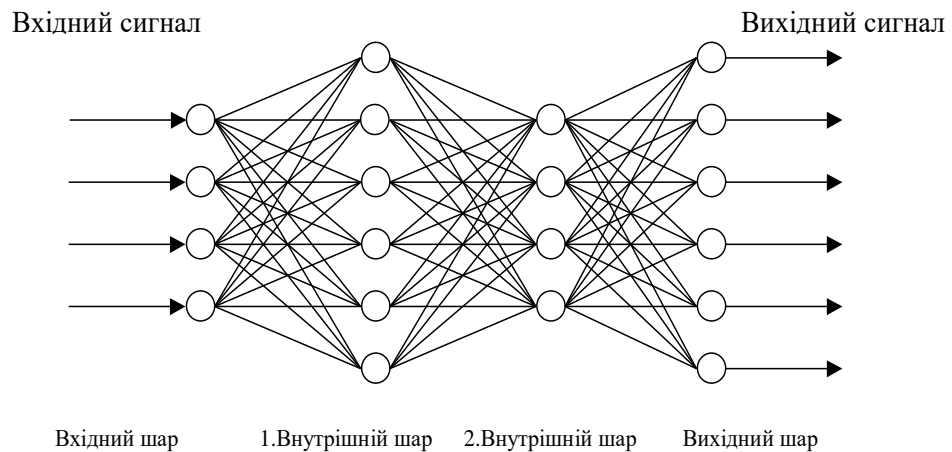


Рисунок 2.7 – Базова структура нейронної мережі

Множина математичних моделей нейрона може бути побудована на базі простої концепції будівлі нейрона. На рисунку 2.8 показана загальна схема математичної моделі нейрона.

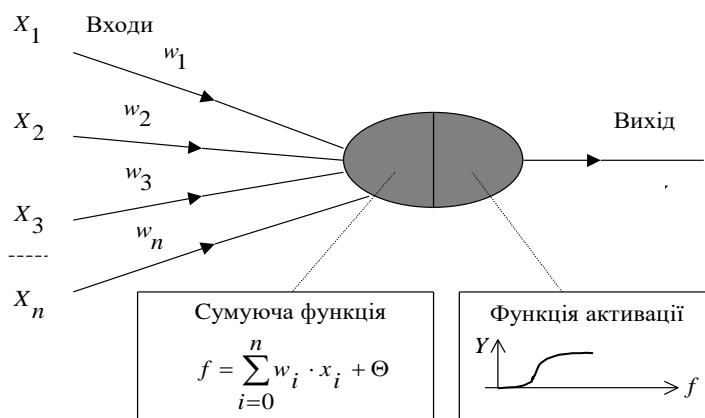


Рисунок 2.8 – Проста математична модель нейрона

Штучним нейроном називається простий елемент, який спочатку обчислює

зважену суму V вхідних величин x_i

$$V = \sum_{i=1}^N W_i \cdot x_i = \vec{W} \cdot \vec{X}, \quad (2.15)$$

де N - розмірність простору вхідних сигналів.

Так називана функція активації розраховує вихідний сигнал нейрона Y за рівнем активності f . Функція активації звичайно є сигмоїдною, як показано в правій нижній рамці на рисунку 2.8.

Потім отримана сума порівнюється з пороговою величиною W_0 , після чого вступає в дію нелінійна функція активації f . Коефіцієнт $\{W_i\}$ у зваженій сумі зазвичай називають синаптичним коефіцієнтом або вагою. Сама ж зважена сума V називається потенціалом нейрона [10].

Як ще один ваговий коефіцієнт при постійному вхідному сигналі можна розглядати величину порогового бар'єру. У цьому випадку ми говоримо про розширений вхідний простір: нейрон із N -мірним входом має $N+1$ ваговий коефіцієнт. Якщо ввести у рівняння порогову величину W_0 , то воно переписеться таким чином:

$$V = \sum_{i=1}^N W \cdot x + W_0. \quad (2.16)$$

У залежності від засобу перетворення сигналу і характеру активації виникає різноманітні види нейронних структур. Існують детерміновані нейрони, коли активізуюча функція однозначно обчислює вихід по входу, і ймовірнісні нейрони, стан яких у момент t є випадкова функція потенціалу і стану у момент $t-1$.

2.3.3 Функції активації

В штучних нейронах можуть бути різноманітні функції активації, але найпоширенішими є наступні функції:

- лінійна: вихідний сигнал нейрона дорівнює його потенціалу,
- порогова: нейрон вибирає рішення з двох варіантів: 0 / 1,
- багатопорогова: вихідний сигнал може приймати одне з q значень,

обумовлених ($q-1$) порогом всередині граничних значень.

- сигмоїдна: розглядається два види сигмоїдних функцій: з вихідними значеннями в проміжку $[0,1]$ та з вихідним значенням у проміжку $[-1,1]$.

$$s = f(V) = \frac{1}{1 + \exp(-bV)}, \quad (2.17)$$

$$s = f(V) = \frac{\exp(bV) - 1}{\exp(bV) + 1}. \quad (2.18)$$

Коефіцієнт b визначає крутизну сигмоїда. Оскільки сигмоїдна функція є відображенням $(-\infty, \infty)$ на $(-1, 1)$, то крутизну можна врахувати через величини ваг і порогів, і без обмеження спільності можна прийняти її рівній одиниці [10].

Слід зазначити, що сигмоїдна функція диференціюєма на всій осі абсцис, що використовується в деяких алгоритмах навчання. До того ж, вона має властивість підсилювати слабкі сигнали краще, чим сильні, і запобігає насиченню від сильних сигналів, тому що вони відповідають областям аргументів, де сигмоїд має положистий нахил.

2.3.4 Типи архітектур нейромереж

З точок на площині і з'єднань між ними можна побудувати множину графічних фігур, які називаються графами. Нейронну мережу ми отримаємо у тому випадку, якщо з'єднання між точками уявимо собі як дендрити і синапси, а кожную точку - як один нейрон.

Але не кожне з'єднання нейронів буде працездатним або взагалі доцільно. Тому на сьогоднішній день існує тільки декілька працюючих і реалізованих програмно архітектур нейромереж. Опишемо їх склад і класи вирішуваних ними задач [11].

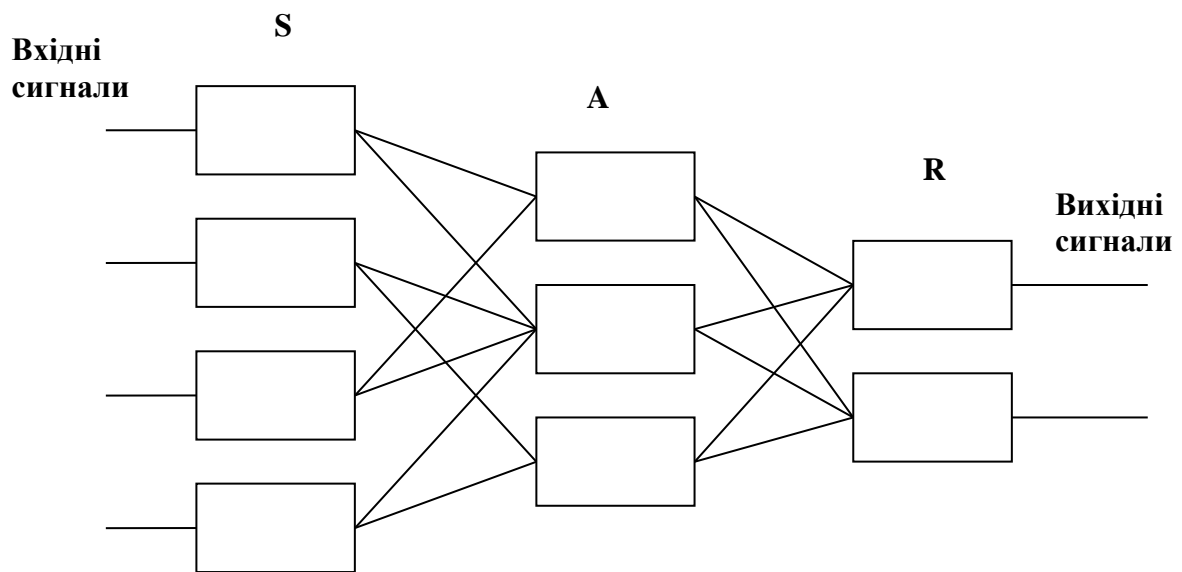


Рисунок 2.9 – Мережі прямого поширення:

S – рецепторний шар;

A – аналізуючий шар;

R – реагуючий

За архітектурою зв'язків нейромережі можуть бути згруповані у два класи: мережі прямого поширення, у яких зв'язок не має петлі (рисунок 2.9), мережі рекурентного типу, у яких можливий зворотний зв'язок (рисунок 2.10).

Мережі прямого поширення розділяються на одношарові перцептрони (мережі) і багатошарові перцептрони (мережі). Назву перцептрона для нейромережі придумав американський нейрофізіолог Ф. Розенблатт, що придумав в 1957 році перший нейропроцесорний елемент (НПЕ), тобто нейромережу. Він же довів збіжність області рішення для перцептрона при його навчанні.

Відразу після цього почалося інтенсивне дослідження у цій області і було створено перший нейрокомп'ютер Mark I. Відмінність багатошарових мереж полягає в тому, що декілька прихованих прошарків нейронів розташовуються між вхідними і вихідними даними, що додає більше нелінійних зв'язків у модель.

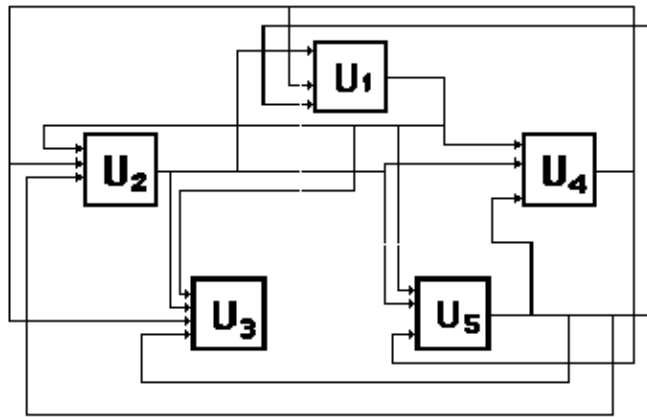


Рисунок 2.10– Рекурентна мережа

Розглянемо пристрій найпростішої багатошарової нейромережі. Будь-яка нейронна мережа складається з вихідного і вхідного шару. Відповідно подаються залежні та незалежні змінні. Вхідні дані перетворюються нейронами мережі і порівнюються з вихідними. Якщо відхилення більше заданого, то спеціальним чином змінюються порогові значення нейронів і ваги зв'язків нейронів між собою. Знову відбувається процес обчислення вихідного значення і його порівняння з еталоном. Якщо відхилення менше заданої похибки, то процес навчання припиняється. Крім вхідних і вихідних прошарків у багатошаровій мережі існують прошарки, які називаються прихованими. Вони являють собою нейрони, що не мають безпосередніх входів початкових даних, а пов'язані тільки з виходами вхідного прошарку і з входом вихідного прошарку. Таким чином, прихований прошарок додатково перетворює інформацію і додає нелінійності в модель [12].

Якщо одношарова нейромережа дуже добре справляється із задачами класифікації, тому що вихідний прошарок нейронів порівнює отримані від попереднього прошарку значення з порогом і видає значення або нуль, тобто менше порогового значення, або одиницю - більше порогового (для випадку порогової внутрішньої функції нейрона), і не спроможна вирішувати більшість практичних задач (що було доведено Мінським і Пайпертом), то багатошаровий перцептрон із сигмоїдними вирішувальними функціями спроможний апроксимувати будь-яку функціональну залежність (це було доведено у вигляді теореми). Але при цьому не

відомо ні потрібне число прошарків, ні потрібна кількість прихованих нейронів, ні необхідний для навчання мережі час.

Поведінка рекурентних мереж описується диференціальним або різницеvim рівнянням, як правило, першого порядку. Це дуже поширює галузь застосування нейромереж і засоби їх навчання. Організована мережа таким чином, що кожен нейрон отримує вхідну інформацію від іншого нейрона, від навколишнього середовища, або, навіть, від самого себе. Мережі такого типу мають важливе значення, тому що вони дають змогу моделювати нелінійні динамічні системи.

Серед рекурентних мереж можна виділити мережі Хопфілда і мережі Кохонена.

За допомогою мереж Хопфілда можна обробляти невпорядковані (рукописні літери), впорядковані у часі (тимчасові ряди) або просторові (графіки) зразки. Рекурентна нейромережа найпростішого вигляду була введена Хопфілдом і побудована з N нейронів, пов'язаних кожний з кожним крім самого себе, причому всі нейрони є вихідними. Нейромережу Хопфілда можна використовувати в якості асоціативної пам'яті [12].

Мережа Кохонена ще називається "картою ознак з самоорганізацією". Мереж такого типу розраховані на самостійне навчання і під час навчання повідомляти їй правильні відповіді необов'язково. У процес навчання на вхід мережі подаються різноманітні зразки. Мережа уловлює особливості їх структури і розділяє зразки на кластери, а вже навчена мережа відносить кожен новий приклад до одного з кластерів, керуючись деяким критерієм "близькості".

Мережа складається з одного вхідного і одного вихідного прошарку. Кількість елементів у вихідному прошарку безпосередньо визначає, скільки різноманітних кластерів мережа зможе розпізнати. Кожний із вихідних елементів одержує на вхід весь вхідний вектор. Як і у будь-якій нейронній мережі, кожному зв'язку приписана деяка синаптична вага. У більшості випадків кожний вихідний елемент з'єднаний також із сусідніми. Це міжшарові зв'язки відіграють важливу роль в процесі навчання, тому що коригування ваг відбувається тільки біля того елемента, який найкращим чином відкликається на черговий вхід.

2.3.5 Навчання багат шарової мережі

Головна відмінність і перевага нейромереж перед класичними засобами прогнозування і класифікації полягає в їх спроможності до навчання.

На етапі навчання відбувається обчислення синаптичних коефіцієнтів в процесі рішення нейронною мережею задач, в яких потрібна відповідь визначається не по правилам, а за допомогою прикладів, згрупованих у навчальні множини. Отже на етапі навчання нейромережа у процесі підготування даних для побудови експертної системи сама виконує роль експерта. Передбачається, що правила знаходяться в структурі навчальних даних [12].

Навчальні дані потрібні для навчання нейронної мережі. Вони повинні відповідати властивостям представлення і випадковості або послідовності. Все залежить від класу задач, що розв'язується. Такі дані являють собою ряд прикладів з вказівкою для кожного з них значення вихідного параметру, що було б бажано отримати. Дії, які відбуваються при цьому процесі, можна назвати контрольованим навчанням: "вчитель" на вихідний вузол повідомляє бажане значення результату обчислень а на вхід мережі подає вектор вихідних даних. Як рішення оптимізаційної задачі можна розглядати контрольоване навчання нейромережі. Її метою є мінімізація функції помилки E на даній множині прикладів шляхом вибору вагових значень W . Збіжністю процесу навчання називається досягнення мінімуму. Саме можливість цього і підвела Розенблата. Так як від ваг помилка залежить нелінійно, неможливо отримати рішення в аналітичній формі, в результаті чого пошук глобального мінімуму здійснюється за допомогою ітераційного процесу - так званого навчального алгоритму. На даний момент існує вже більше сотні різних навчальних алгоритмів, які відрізняються один від одного критерієм помилки та стратегією оптимізації. Зазвичай в якості міри похибки береться середньо квадратична помилкам (СКП):

$$E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (d_i - y_i)^2}{M}}, \quad (2.19)$$

де M - кількість прикладів у навчальній множині.

Мінімізація розміру E здійснюється за допомогою градієнтних методів. Зміна ваг відбувається у напрямку, оберненому до напрямку найбільшої крутизни для функції:

$$W(t+1) = W(t) + \varepsilon \cdot \frac{\partial E}{\partial W}, \quad (2.20)$$

де ε - параметр, що визначається користувачем, який називається коефіцієнтом навчання.

Правило навчання Хеба: Збільшувати вагу активного входу нейрона, якщо вихід цього нейрона повинний бути активним.

Зменшити вагу активного входу нейрона, якщо вихід цього нейрона не повинний бути активним.

Це правило, назване правилом Хеба, має найвищий пріоритет перед іншими навчальними правилами, включаючи найбільше використовуваний у даний час метод зворотного поширення помилки (Error Back Propagation Algorithm) [13].

Таким чином, повний алгоритм навчання НМ за допомогою процедури зворотного поширення будується так.

1. Подати на входи мережі один із можливих способів і в режимі звичайного функціонування НМ, коли сигнали поширюються від входів до виходів, розрахувати значення останніх. Нагадаємо, що

$$s_j^{(n)} = \sum_{i=0}^M y_i^{(n-1)} \cdot w_{ij}^{(n)}, \quad (2.21)$$

де M - число нейронів у шарі $n-1$ з врахуванням нейрона з постійним вихідним станом $+1$, що задає зсув; $y_i^{(n-1)} = x_{ij}^{(n)}$ - i -ий вхід нейрона j шару n .

$$y_j^{(n)} = f(s_j^{(n)}), \quad (2.22)$$

$$y_q^0 = I_q, \quad (2.23)$$

де I_q - q-а компонента вектора вхідного образу.

2. Розрахувати $\delta^{(N)}$ для вихідного шару по формулі. Розрахувати зміни ваг $\Delta w^{(N)}$ шару N.

3. Розрахувати відповідно $\delta^{(n)}$ і $\Delta w^{(n)}$ для всіх інших шарів, $n = N-1, \dots, 1$.

4. Скорегувати усі ваги в НМ:

$$w_{ij}^{(n)}(t) = w_{ij}^{(n)}(t-1) + \Delta w_{ij}^{(n)}(t). \quad (2.24)$$

5. Якщо помилка мережі істотна, перейти на крок 1. У противному випадку - кінець.

Мережі на кроку 1 поперемінно у випадковому порядку пред'являються всі тренувальні способи, щоб мережа, образно говорячи, не забувала попередні в міру запам'ятовування інших.

2.4 Приклад використання ШНМ в якості кодера в системі розпізнавання символів

Розглянемо алгоритм навчання на простій модельній задачі.

Навчання перцептрона проходить наступним чином. Подається сукупність (множину) зображень по одному на вхід перцептрона та змінюються ваги до того моменту, доки для всіх зображень не буде досягнуто необхідний вихід. Припустимо, що вхідні зображення нанесено на демонстраційні карти. Усі карти розділено на квадрати і подається вхідний сигнал на перцептрон від кожного квадрата. Якщо в квадраті немає лінії, то від неї подається нуль, у протилежному випадку – одиниця. Сукупність одиниць і нулів, котрі подаються на входи перцептрона задається

сукупністю квадратів на карті. Основною метою є навчити перцептрон, за умови подавання на нього сукупності входів, що задають непарне число, вмикати індикатор, і у випадку парного числа не робити цього [15].

На рисунку 2.11 показана така перцептронна конфігурація.

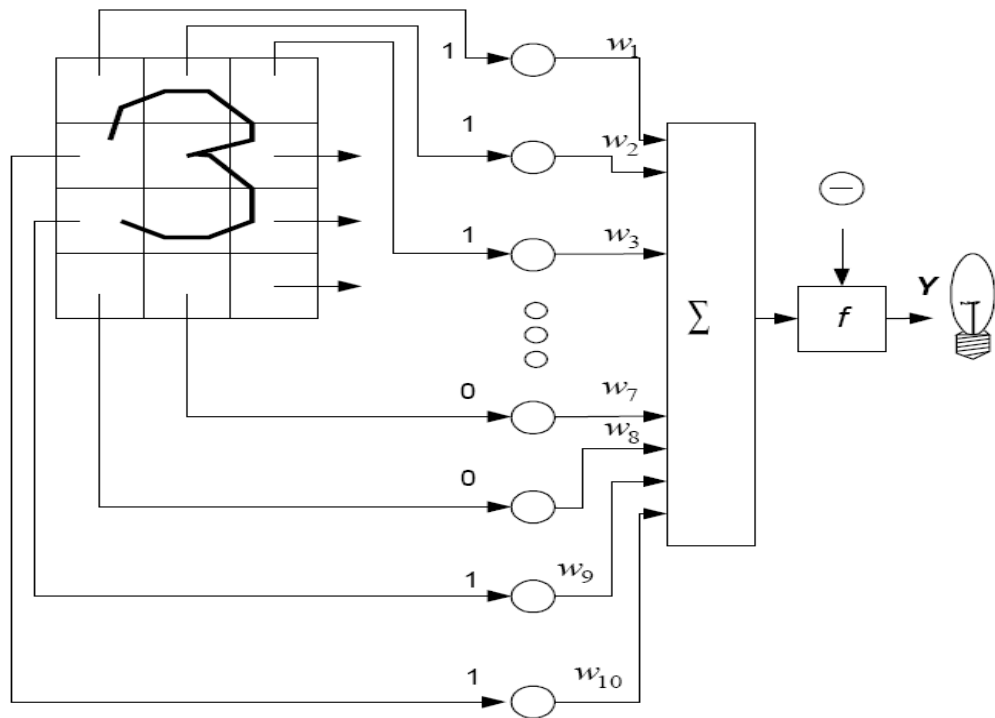


Рисунок 2.11 – Перцептронна система розпізнавання зображень

Припустимо, що вектор x є зображенням розпізнаваної демонстраційної карти. Кожну компоненту x_i (квадрат зображення карти) вектора x перемножують на відповідну компоненту w_i вектора ваг w . Ці добутки сумують. У випадку якщо сума не перевищує поріг q , то вихід нейрона у дорівнює нулю, у протилежному випадку – одиниця (індикатор запалюється). Цю операцію компактно записують у векторній формі: $y = xw$. Для навчання мережі образ x подають на вхід і обчислюють вихід y . Нічого не змінюється у разі якщо вихід правильний. В протилежному випадку щоб зменшити помилку, приєднані до входів що підсилюють помилковий результат, ваги, модифікуються.

Перевірка адекватності запропонованої математичної моделі ШНМ як кодера рангової конфігурації вимагає синтезу нетипової нейромережі, яка, у першому наближенні, матиме одношарову неповнозв'язну архітектуру. Наявність зв'язків між нейронами мережі визначатиметься матрицею інцидентності модельованого графа, а

матриця ваг міжнейронних зв'язків – матрицю суміжності для рангів модельованого графа. Найближчою за архітектурою відомою нейромережею є нейромережа Хопфілда. Надходження на вхід такої мережі деякого набору ознак переводить нейромережу в одне з положень рівноваги, що дозволяє асоціювати вхідний вектор ознак із одним із об'єктів, на розпізнавання яких мережу навчено. Структурну схему такої нейромережі зображено на рисунку 2.12.

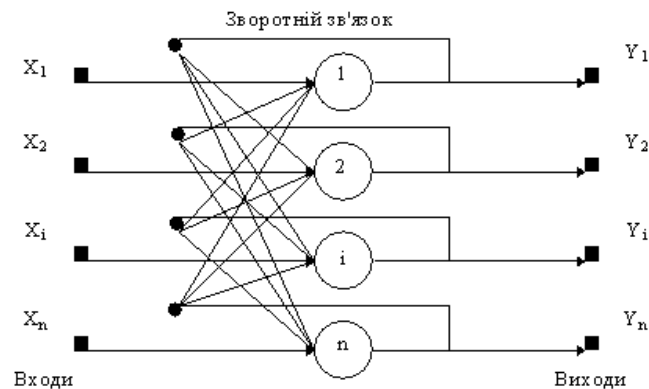


Рисунок 2.12 - Архітектура нейромережі Хопфілда

Дослідження запропонованої моделі нейронної мережі у вигляді рангової конфігурації полягало у вирішенні класичної задачі розпізнавання цифр від 0 до 9. Зображення кожної із цифр закодовано у вигляді поля 256×256 пікселів. За умови, що виходу кожного нейрону створеної нейромережі відповідає цифра від 0 до 9 безпосередньо (вектор \mathbf{Y}), кількість нейронів в мережі дорівнює десяти. На вхід нейромережі подавався вектор \mathbf{X} із десяти ознак, кожен елемент якого дорівнював +1 або -1 в залежності від того, яких за значенням пікселів більше у кожній з 10 ділянок розміром 40×40 пікселів, розташованих на зображенні за вибраною схемою, наведеною на рисунку 2.13.

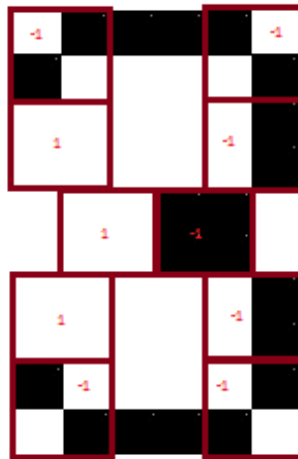


Рисунок 2.13 – Схема розташування площадок-ознак на рисунку цифри 3

Відповідно запропонованій математичній моделі, матрицею ваг нейромережі буде трикутна матриця із нульовою діагоналлю, під якою розташовуватимуться ранги міжнейронних зв'язків. Приклад матриці наведено на рисунку 2.14. Такий вигляд матриці ваг зумовлено потребою виключення зворотних та циклічних зв'язків, не передбачених матрицею інцидентності запропонованій математичній моделі.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	44	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	35	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	33	16	7	17	0	0	0	0	0	0	0	0
6	41	11	19	28	31	0	0	0	0	0	0	0
7	9	32	43	30	18	34	0	0	0	0	0	0
8	41	19	9	10	11	44	9	0	0	0	0	0
9	37	43	13	26	26	20	4	42	0	0	0	0
10	30	30	3	44	6	14	17	36	22	0	0	0
11	30	5	7	40	13	39	45	15	35	21	0	0
12	25	36	4	44	4	18	13	28	22	12	36	0
13	7	32	33	29	18	34	11	7	15	9	35	0
14	28	5	4	19	40	29	7	1	18	32	45	0
15	17	10	24	20	28	39	41	19	32	6	43	0
16	20	43	36	1	17	18	20	41	41	7	33	0
17	27	10	4	16	30	45	26	8	34	32	44	0
18	40	7	30	35	28	15	1	14	7	19	6	0

Рисунок 2.14 – Приклад матриці рангів ваг міжнейронних зв'язків

Для проведення експерименту було обрано середовище Matlab, яке є одним з існуючих систем, які дозволяють в досить простій формі реалізовувати нейронні мережі.

$\text{Net} = \text{NEWHOP}(T)$ – функція для створення рекурентної мережі Хопфілда, використовує один вхідний аргумент, де T – матриця розмірністю $R \times Q$, при цьому Q – цільовий вектор (значення повинні бути $+1$ або -1), повертає нову рекурентну нейронну мережу Хопфілда зі стабільними точками в векторі T ; R – число елементів вектору входу.

$[Y, Pf, Af] = \text{sim}(\text{net}, 10, [], X)$ – моделювання нейронної мережі. Y – виходи мережі.

Коли мережа Хопфілда спроектована, її можна перевірити з одним або великим числом векторів входу. Досить імовірно, що вектори входу, близькі до цільових точок рівноваги, знайдуть свої цілі. Перевірити мережу за відносно короткий час дозволяє спроможність мережі Хопфілда досить швидко обробляти набори векторів входу.

Після запуску створеної нейромережі отримуємо такі результати: на рисунку 2.15 наведено зображення еталонних цифр, які були використанні для навчання.

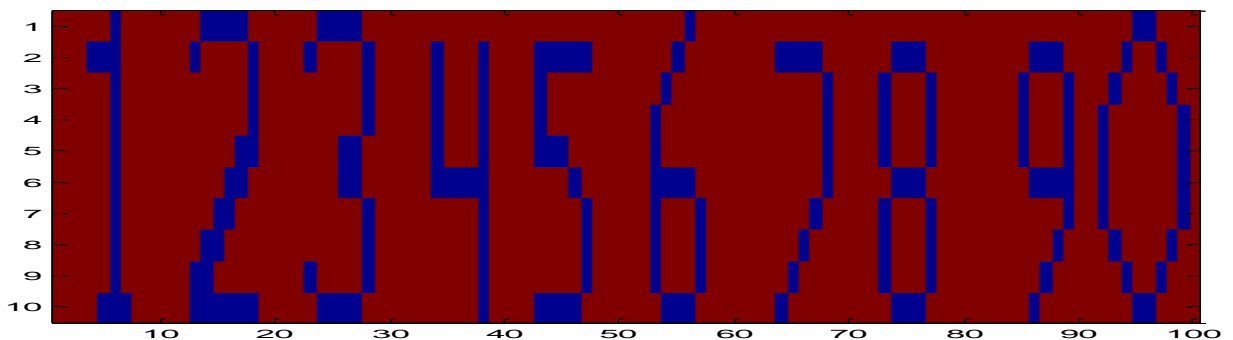


Рисунок 2.15 – Еталонні зображення цифр

Отже, результати експерименту показали, що створена, на основі запропонованої математичної моделі, нейромережа якісно виконує задачу розпізнавання цифр, що підтверджує адекватність математичної моделі представлення нейронної мережі ранговими конфігураціями.

2.5 Дослідження коригуючи властивостей рангового коду

В теорії передачі інформації по каналах зв'язку важливе місце займає надійність передачі, яка визначається властивістю самого каналу передачі інформації з однієї сторони, а з іншої коригуючими властивостями коду, що використовується для передачі інформації. В розділі 2.1 даної роботи було показано, що вірогідність невиявлення помилки для запропонованого *DRP*-коду на декілька порядків менша від такої ж величини стандартного КПВ коду МТА-3 при статистичній ймовірності внесення помилки каналом з завадами. Оскільки канали зв'язку в інформаційних мережах систем управління працюють в умовах промислового виробництва, в якому можливі значні електромагнітні завади, то вони можуть вносити помилки в кодові слова, що передаються мережею. Тому однією з основних задач в цьому випадку є визначення коригуючи властивостей запропонованого рангового коду і розробка алгоритмів локалізації і виправлення помилок в кодових словах, внесених завадами каналу.

Як було показано в розділі 2.1, запропонований *DRP*-код за своєю природою є кодом з постійною вагою (КПВ). Для кількості m кодованих елементів він має m кодових слів і $m-1$ одиниць в кожному кодовому слові. За стандартною класифікацією КПВ відноситься до блокових нелінійних кодів. Аналіз математичних моделей рангового коду показує, що він є множиною m багатозначних логічних функцій значності n , значення аргументів яких отримуються відображенням впорядкованих відстаней між елементами вихідного простору на впорядковану множину рангів за допомогою логічної операції I . Оскільки операція I на множині кодових слів не є груповою, то для коригування помилок передачі *DRP*-коду стандартні методи не підходять, і потрібна розробка оригінальних алгоритмів локалізації і виправлення помилок, заснованих на дослідженні евристичних закономірностей. Оскільки асиметричні помилки в кодових словах (стирання "1" до нуля вставка замість "0" одиниці виявляються в КПВ стандартним алгоритмом підрахунку кількості одиниць в кодовому слові, то основну увагу приділимо дослідженню симетричних помилок, тобто парній заміні у визначених розрядах

кодових слів “0” на “1” і навпаки. Для дослідження виберемо рангову конфігурацію трьохмірного симплексу, зображену на рис. 2.1 а, б. Матриця інцидентностей (яка представляє *DRP*-код) і матриця суміжностей цієї конфігурації представлені на рис.2.2 в розділі 2.1.

Дослідження буде полягати в аналізі вигляду *DRP*-коду після внесення в вибране кодове слово парної помилки. Кількість різних варіантів помилок E_v можна визначити за формулою:

$$E_v = m(C_{m-1}^1 C_{(n-m+1)}^1), \quad (2.25)$$

де m – кількість кодованих символів (станів системи), C_{m-1}^1 - кількість можливих помилок в одиничних розрядах, $C_{(n-m+1)}^1$ - кількість можливих варіантів помилок в нульових розрядах. Для *DRP*-коду вибраної для дослідження конфігурації (рис. 2.1 і рис. 2.2, $m=4$, $n=6$) кількість варіантів помилок для дослідження дорівнює:

$$E_v = 4(C_{4-1}^1 C_{(6-4+1)}^1) = 4 \cdot 3 \cdot 3 = 36.$$

Аналіз результатів проведеного дослідження для цих варіантів показав, що для побудови евристичного алгоритму, окрім самих помилкових кодових слів потрібно аналізувати також перевіірочну матрицю $G_R[n,n]$ рангових відстаней між всіма парами кодових слів. Приклади правильного *DRP*-коду і перевіірочної матриці для нього і помилкових *DRP*- кодів і перевіірочних матриць для них наведені на рис. 2.16 – 2.18.

Ранги → Символи ↓	6	5	4	3	2	1
A	1	0	1	0	0	1
B	0	1	1	0	1	0
C	1	0	0	1	1	0
D	0	1	0	1	0	1

а)

Ранги → Відстані ↓	6	5	4	3	2	1
d(AC)	1	0	0	0	0	0
d(AB)	0	0	1	0	0	0
d(AD)	0	0	0	0	0	1
d(BC)	0	0	0	0	1	0
d(BD)	0	1	0	0	0	0
d(CD)	0	0	0	1	0	0

б)

Рисунок 2.16 – Правильний DRP-код рангової конфігурації (а) і перевірна матриця рангових відстаней для нього (б)

Ранги → Символи ↓	6	5	4	3	2	1
A	1	0	1	0	0	1
B	1	0	1	0	1	1
C	1	0	0	1	1	0
D	0	1	0	1	0	1

а)

Ранги → Відстані ↓	6	5	4	3	2	1
d(AC)	1	0	0	0	0	0
d(AB)	1	0	1	0	0	0
d(AD)	0	0	0	0	0	1
d(BC)	1	0	0	0	1	0
d(BD)	0	0	0	0	0	0
d(CD)	0	0	0	1	0	0

б)

Рисунок 2.17 – DRP-код рангової конфігурації (а) з помилкою в кодовому слові В (“1” з розряду 5 перейшла в 6 розряд, а на її місці став “0”) і перевірна матриця рангових відстаней для нього (б)

Ранги → Символи ↓	6	5	4	3	2	1
A	1	0	1	0	0	1
B	0	0	1	0	1	1
C	1	0	0	1	1	0
D	0	1	0	1	0	1

а)

Ранги → Відстані ↓	6	5	4	3	2	1
d(AC)	1	0	0	0	0	0
d(AB)	0	0	1	0	0	1
d(AD)	0	0	0	0	0	1
d(BC)	0	0	0	0	1	0
d(BD)	0	0	0	0	0	1
d(CD)	0	0	0	1	0	0

б)

Рисунок 2.18 –DRP-код рангової конфігурації (а) з помилкою в кодовому слові В (“1” з розряду 5 перейшла в 1 розряд, а на її місці став “0”) і перевірна матриця рангових відстаней для нього (б)

2.6 Висновки

В даному розділі наведено математичне обґрунтування представлення інформації про стани об’єктів систем управління ранговими конфігураціями, наведені математичні моделі рангових конфігурацій, які дозволили визначити характеристики рангових кодів, якими ці конфігурації кодуються.

Розроблено структурну схему пристрою передачі рангової інформації в мережах систем управління, наведено математичне обґрунтування роботи кодера інформації в рангову у вигляді штучної нейронної мережі, наведено результати дослідження роботи такого кодера на прикладі розпізнавання цифр такою мережею. Результати дослідження показали адекватність представлення нейронної мережі ранговими конфігураціями.

Проведено дослідження впливу каналу зв’язку з завадами на процес передачі рангової інформації в інформаційній мережі, визначено переваги запропонованого коду над прийнятими стандартними КПВ кодами з точки зору надійності і

коригуючої здатності. Проведене дослідження показало можливість локалізації і виправлення парних симетричних помилок в кодових словах і сформулювати правила виконання таких дій, необхідні для побудови алгоритму.

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ І ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Розробка алгоритму кодування рангових конфігурацій *DRP*-кодом

Першим кроком в рішенні задачі побудови оптимального RP-коду, що відображає простір кодів заданої конфігурації, є визначення його розрядності. Під оптимальним розуміється код, що має мінімальну з всіх можливих розрядність. Очевидно, що розрядність RP-коду залежить як від числа кодованих елементів, так і від їх заданої просторової конфігурації: $n = (m, K)$. Як було показано в розділі 2.1, розрядність *DRP*-коду визначається виразом

$$n_{\max} = (m(m-1))/2, \quad (3.1)$$

Побудова самого коду, тобто знаходження множини двійкових кодових слів $V = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$, конфігурація яких в двійковому просторі ізоморфна заданій конфігурації K вихідного простору m станів, виконується за допомогою розробленого в роботі алгоритму.

Для кращого розуміння розроблюваного алгоритму наведемо приклад конкретної рангової конфігурації (рис. 3.1) і наведемо позначення змінних, що використовуються для її опису.

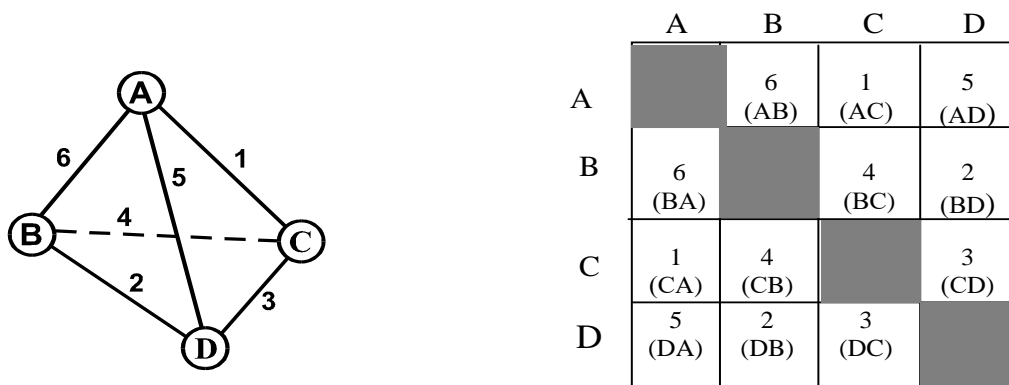


Рисунок 3.1 – Приклад кодованої рангової конфігурації: а – трьохмірний симплекс, б – матриця суміжностей рангів

Словесний опис алгоритму побудови DRP-коду для заданої конфігурації має наступний вигляд:

1. Введемо початкові дані - число M об'єктів в конфігурації і матрицю інцидентності $MINC(M, M-1)$.
2. Обчислюємо розрядність RP-коду за формулою (2.4):

$$N = \frac{M(M-1)}{2}.$$

3. Будуємо початкову кодову матрицю MKOD шляхом виділення в пам'яті масиву $MKOD(M, N)$ і запису нулів на місцях всіх його елементів. В цій матриці i -та стрічка відповідає i -тому кодованому елементу, а j -ий стовпчик $(N-j+1)$ -му рангу.

4. Для кожної стрічки кодової матриці MKOD виконуємо процедуру заповнення одиницями DRP-коду наступним чином: переглядаємо всі $(m-1)$ стовпчиків i -ої стрічки матриці інцидентностей MINC, і записуємо "1" в стовпчик матриці з номером $N - MINC(i, j) + 1$.

5. Виводимо на друк DRP-коди об'єктів, при цьому код i -го об'єкта відповідає i -ій стрічці матриці $MKOD(M, N)$.

Блок-схема алгоритму зображена на рисунку 3.2.

Для заданої на рис.3.1 конфігурації $n = 4*3/2 = 6$, а матриця суміжностей рангів $MINC[4,3]$ має вигляд:

$$MINC = \begin{matrix} A \\ B \\ C \\ D \end{matrix} \begin{vmatrix} 6, & 1, & 5 \\ 6, & 4, & 2 \\ 1, & 4, & 3 \\ 5, & 2, & 3 \end{vmatrix}$$

Коди для кожної вершини матимуть вигляд:

A:	1	1	0	0	0	1
B:	1	0	1	0	1	0
C:	0	0	1	1	0	1
D:	0	1	0	1	1	0

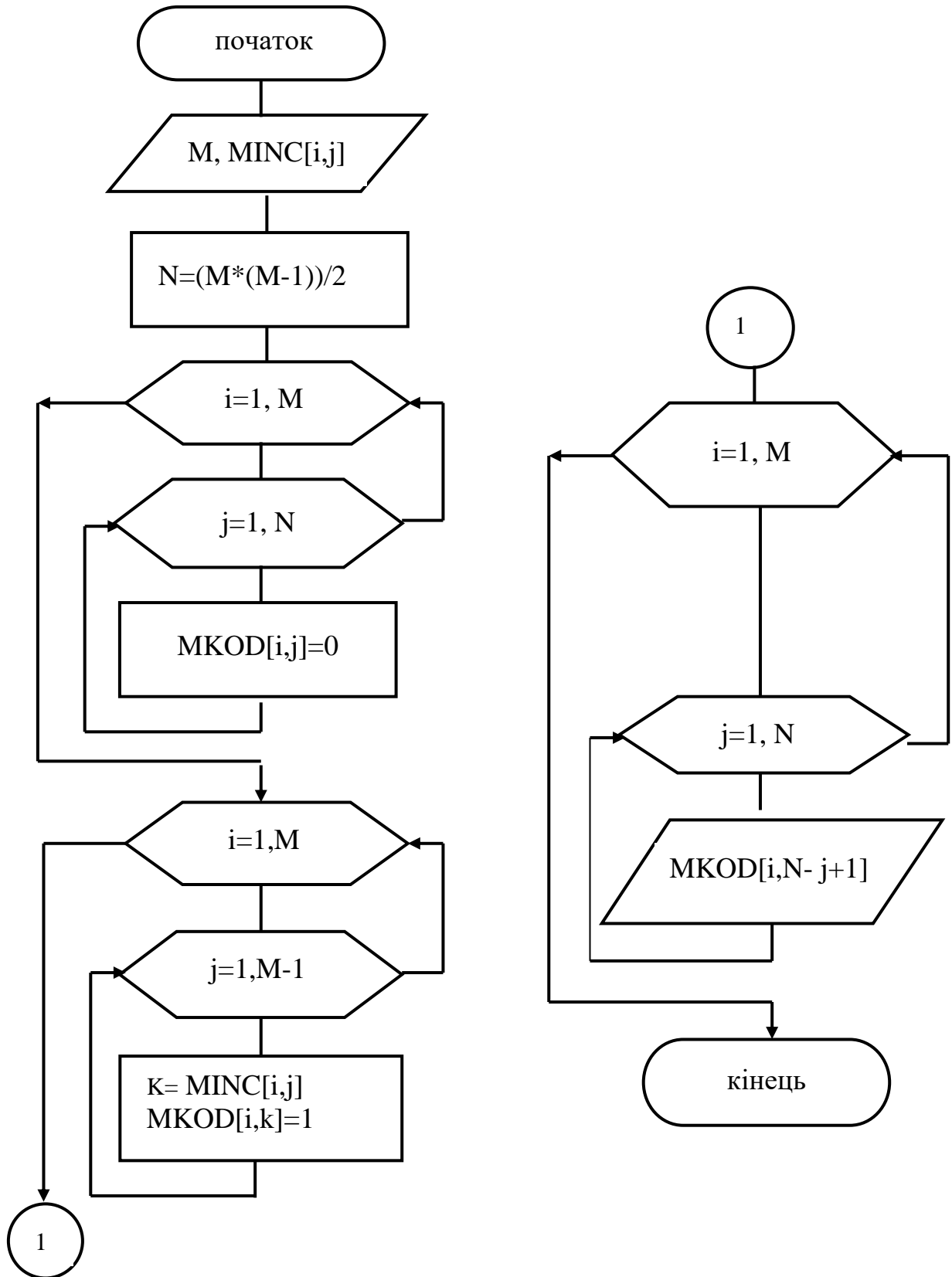


Рисунок 3.2 – Алгоритм кодування рангової конфігурації DRP-кодом

3.2 Розробка алгоритму локалізації і виправлення помилок в DRP-кодi

Згідно знайдених в розділі 2.5 закономірностей евристичний алгоритм локалізації і виправлення поодиноких асиметричних і симетричних помилок в DRP-кодi можна має наступний вербальний опис.

На першому кроці в пам'яті декодера формується двомірний масив розміром $m \times n$ прийнятих з каналу m кодових слів, де n - розрядність коду. За умови безпомилкової передачі цей масив буде відповідати матриці інцидентій переданої рангової конфігурації станів системи, а кожна стрічка масиву - правильному слову DRP-коду.

На другому кроці шляхом підрахунку одиниць в кожному рядку масиву локалізуються кодові слова з асиметричними помилками у випадку $t \neq m-1$, де t - кількість одиниць в слові. Виправлення асиметричних помилок здійснюється за процедурою: якщо в деякому слові кількість одиниць $t > m$, то скануються стовпчики масиву кодових слів і в знайденому помилковому слові замінюються одиниці на нулі в тих розрядах, стовпці яких містять більше 2-х одиниць; якщо в деякому слові кількість одиниць $t < m-1$, то скануються стовпчики масиву кодових слів і в знайденому помилковому слові замінюються нулі на одиниці в тих розрядах, стовпці яких містять менше 2-х одиниць.

На третьому кроці скануються стовпчики масиву і виявляється наявність симетричних парних помилок у випадку наявності стовпчиків з одиницями, в яких кількість одиниць не дорівнює 2. Локалізація помилкового кодового слова здійснюється з допомогою перевірконої матриці $G_R[n, n]$ за наступною процедурою: відзначаються ті рядки матриці, в яких міститься два одиничних біти. Якщо таких кодових слів більше одного, то за помилкове вибирається те, індекс якого міститься в індексах пар відстаней двічі.

На четвертому кроці локалізуються номери пошкоджених бітів і коректуються. Для асиметричних помилок вони визначаються наявністю зайвих чи відсутністю потрібних одиниць в словах, а для симетричних помилок за правилом: стовпчик з нулями в перевірконій матриці $G_R[n, n]$ відстаней кодових слів,

отриманої за логічною операцією “Г” над всіма парами кодових слів, показує біт з заміною $1 \rightarrow 0$, а стовпчик з трьома одиницями - біт з заміною $0 \rightarrow 1$.

Схема алгоритму локалізації і виправлення помилок *DRP*-коду наведена в графічній частині магістерської роботи.

3.3 Розробка алгоритму декодування *DRP*-коду в рангову конфігурацію

На приймальному кінці розробленої системи передачі інформації, після локалізації і виправлення помилок *DRP*-коду згідно з розробленим в розділі 3.2 алгоритмом, необхідно декодувати ранговий код в рангову конфігурацію, тобто виконати процедуру, обернену до процедури, описаної в розділі 3.1. Алгоритм декодування для наглядності будемо описувати для прикладу *DRP*-коду і рангової конфігурації, наведених у вказаному розділі.

Словесний опис алгоритму декодування *DRP*-коду (побудови рангової конфігурації, що відповідає прийнятому *DRP*-коду) має такий вигляд:

1. Введемо початкові дані – кількість кодованих елементів M і матрицю $MKOD(M,N)$, сформовану з прийнятих з каналу передачі кодових слів.

2. Будуємо початкову матрицю $MINC$ рангової конфігурації шляхом виділення в пам'яті масиву $MINC(M,M-1)$ і запису нулів на місцях всіх його елементів. В цій матриці i -тий рядок відповідає i -тому кодованому елементу, а j -ий стовпчик відповідає одному із суміжних даному елементу (символу) рангів.

3. Для кожного рядка матриці суміжних рангів $MINC(M,M-1)$ виконуємо процедуру заповнення величинами суміжних рангів наступним чином: для вибраного чергового номера рядка матриці $MINC$ задаємо початковий номер стовпчика $p=0$ і переглядаємо по черзі всі N стовпчиків i -ої стрічки кодової матриці $MKOD(M,N)$. При виявленні в деякому стовпчику з номером j одиничного біта "1" записуємо величину рангу $N - j + 1$ в $(p+1)$ -ий стовпчик матриці $MINC$.

4. Виводимо на друк матрицю конфігурації $MINC(M,M-1)$ ю

Блок-схема алгоритму зображена на рисунку 3.3.

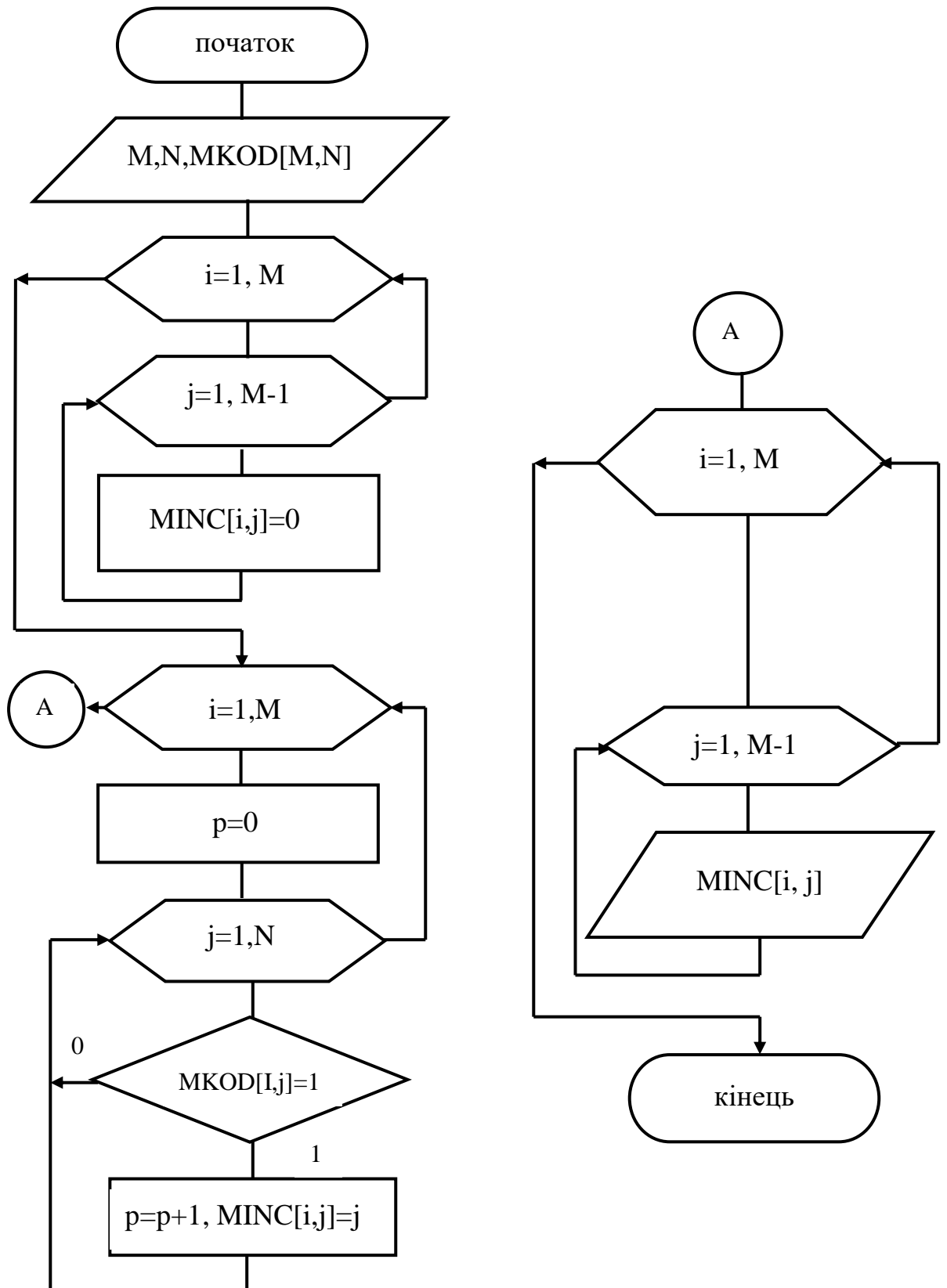


Рисунок 3.3 – Схема алгоритму роботи декодера

3.4 Розробка програмного забезпечення

3.4.1 Вибір програмної платформи

Для створення програми, яка буде обчислювати коди рангових конфігурацій обираємо середовище Turbo C оскільки в ньому зручно і легко реалізувати програмну інтерпретацію роботи з масивами чисел.

Середовище дає змогу для програмування використати основні базові конструкції мови C++, такі як: змінні і константи; типи даних; вирази і оператори; функції локальні та глобальні змінні;

3.4.2 Опис програми кодування потенціальною кодом

Вхідними даними є:

- а) кількість об'єктів, які необхідно кодувати;
- б) кількість ознак, які описують дані об'єкти;
- в) матриця суміжностей рангів цього графа.
- г) елементи матриці суміжності, тобто безпосередньо ранги ваг нейронної мережі або відстаней між станами системи у просторі параметрів..

При виконанні програми виконується попереднє обнулення матриці, а потім заповнення її рангами. Після цього за збільшенням кожному значенню у відповідність ставиться ранг (для конкретного випадку – кількість рангів дорівнює 21). Звідси буде отримано і код розрядності якого відповідає 21, причому очевидно, що в кожному коді присутні тільки 6 “одиниць”, а всі інші “нули”, оскільки кожний об'єкт зв'язаний з іншими сімома і цьому зв'язку відповідає 1 ранг.

Вихідними даними є:

Матриця інцидентності графа, тобто матриця кодів за заданою конфігурацією.

Лістинг програми на мові Сі наведено в Додатку Б.

3.5 Результати тестування програми

Результати розрахунків, які були отримані в результаті машинного експерименту:

Матриця суміжності рангів графа подається на вхід програми як початкові данні для подальшого обчислення.

Матриця суміжності рангів графа:

```

0 1 2 3 4 5 6
1 0 7 8 9 10 11
2 7 0 12 13 14 15
3 8 12 0 16 17 18
4 9 13 16 0 19 20
5 10 14 17 19 0 21
6 11 15 18 20 21 0

```

Матриця інцидентностей графа виражає кінцевий результат і виводиться на екран у вигляді таблиці кодованих об'єктів.

Кодовані об'єкти представлена матрицею інцидентностей

```

1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0
0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1
0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1

```

3.6 Інструкція користувачу

Даний програмний продукт реалізовано на мові високого рівня C++. Необхідні ресурси комп'ютера для нормальної роботи програмного забезпечення:

- а) тип процесора – Pentium II -200 МГ і вище;
- б) об'єм ОЗП – 32 МВ і більше;
- в) монітор – VGA,SVGA;
- г) відеоадаптер – S3 або аналогічний;
- д) вільне місце на жорсткому диску – не менше 10 МВ.

Ініціалізація програми відбувається запуском файлу khvalko.exe. Для подальшої роботи програми потрібно виконати наступні кроки (перехід до наступного кроку здійснюється натисканням клавіші Enter).

1. Вводимо кількість вершин графа (кількість об'єктів). В нашому випадку вона рівна 7.

2. Вводимо кількість зв'язків між даними об'єктами. Вони розраховуються за формулою і в нашому випадку становлять 21.

3. Заповнюємо запропоновану матрицю суміжностей вагами зв'язків.

4. Після введення вхідних даних отримаємо матрицю інцидентностей (матрицю кодованих об'єктів).

Результати розрахунків, які були отримані в результаті машинного експерименту:

Матриця суміжності рангів графа подається на вхід програми як початкові данні для подальшого обчислення.

Матриця суміжності рангів графа:

```

0 1 2 3 4 5 6
1 0 7 8 9 10 11
2 7 0 12 13 14 15
3 8 12 0 16 17 18
4 9 13 16 0 19 20
5 10 14 17 19 0 21
6 11 15 18 20 21 0

```

Матриця інцидентностей графа виражає кінцевий результат і виводиться на екран у вигляді таблиці кодованих об'єктів.

Кодовані об'єкти представлена матрицею інцидентностей

```

1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0
0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0

```

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Аналіз комерційного потенціалу розробки (технологічний аудит розробки).

4.1.1 Визначення рівня комерційного потенціалу розробки

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності. В результаті оцінювання можна буде зробити висновок щодо напрямів (особливостей) організації подальшого її впровадження з врахуванням встановленого рейтингу.

Для проведення технологічного аудиту залучимо 3-х незалежних експертів. У нашому випадку такими експертами будуть керівник магістерської роботи та провідні викладачі випускової та споріднених кафедр.

Оцінювання комерційного потенціалу розробки за будемо здійснювати за 12-ю критеріями згідно рекомендацій.

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки заносимо до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. - Результати оцінювання комерційного успіху розробки

Критерії	Експерти		
	№1	№2	№3
	Бали, виставлені експертами		
1	1	2	2
2	2	3	2
3	3	2	3
4	2	1	2
5	3	2	2
6	1	3	3
7	2	4	2
8	3	3	3
9	2	2	2
10	4	2	4
11	2	2	3
12	2	3	2

Сума балів	27	29	30
Середньоарифметична сума балів, СБ	29		

За даними таблиці 1.1 робимо висновок щодо рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому користуємося рекомендаціями, наведеними в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 50	Високий

Таким чином, робимо висновок, щодо рівня комерційного потенціалу нашої розробки – середній.

4.1.2 Визначення рівня якості розробки

Оцінювання рівня якості розробки проводиться з метою порівняльного аналізу і визначення найбільш ефективного, з технічної точки зору, варіанта інженерного рішення.

Рівень якості – це кількісна характеристика міри придатності певного виду продукції для задоволення конкретного попиту на неї при порівнянні з відповідними базовими показниками за фіксованих умов споживання.

Абсолютний рівень якості розробки знаходимо обчисленням вибраних для її вимірювання показників, не порівнюючи їх із відповідними показниками аналогічних виробів. Для цього необхідно визначити зміст основних функцій, які

повинні реалізовувати розробка, вимоги замовника до неї, а також умови, які характеризують експлуатацію, визначають основні параметри, які будуть використані для розрахунку коефіцієнта технічного рівня виробу. Система параметрів, прийнята до розрахунків, повинна достатньо повно характеризувати споживчі властивості інноваційного товару (його призначення, надійність, економічне використання ресурсів, стандартизація тощо).

Далі визначаємо величину параметрів якості в балах та встановлюємо граничні його значення (кращі, гірші, середні). Всі ці дані для кожного параметра заносимо в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Основні параметри інноваційного рішення

Параметри	Абсолютне значення параметра			Коефіцієнт вагомості параметра
	Краще +5...+4	Середнє +3	Гірше +1...+2	
Завадостійкість	+5			0,5
Інформаційна ємність каналів передачі інформації	+4			0,4
Швидкість прийняття рішень		+3		0,1

Із врахуванням коефіцієнтів вагомості відповідних параметрів можна визначити абсолютний рівень якості інноваційного рішення за формулою:

$$K_{\text{я.а.}} = \sum_{i=1}^n P_{ni} \cdot a_i, \quad (1.1)$$

де P_{ni} – числове значення i -го параметра інноваційного рішення, n – кількість параметрів інноваційного рішення, що прийняті для оцінювання, a_i – коефіцієнт вагомості відповідного параметра (сума коефіцієнтів вагомості всіх параметрів повинна дорівнювати 1).

Отже, абсолютний рівень якості нашої розробки становитиме – 4,4 бали.

Одночасно визначаємо відносний рівень якості розробки, що виробляється (проекується), порівнюючи її показники з абсолютними показниками якості найліпших вітчизняних та зарубіжних аналогів (товарів-конкурентів) (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Основні параметри розробки та товару-конкурента

Параметри	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (конкурент)	Новий		
Завадостійкість	100	60	0,6	0,5
Інформаційна ємність каналів передачі інформації	90	108	1,2	0,4
Швидкість прийняття рішень	60	69	1,15	0,1

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

$$K_{я.в.} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot a_i, \quad (1.2)$$

За розрахунками відносний рівень якості розробки становитиме – 1,1. Це означає, що наша розробка краща за якістю на 10% від товару-аналога.

4.1.3 Визначення конкурентоспроможності розробки

У найширшому розумінні конкурентоспроможність товару – це можливість його успішного продажу на певному ринку і в певний проміжок часу. Водночас конкурентоспроможною можна вважати лише однорідну продукцію з технічними параметрами і техніко-економічними показниками, що ідентичні аналогічним показникам уже проданого товару. Для того, щоб високоякісний товар був одночасно і конкурентоспроможним, він має відповідати критеріям оцінювання споживачів конкретного ринку в конкретний час.

Дані для розрахунку загального показника конкуренто-спроможності розробки необхідно занести до таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Нормативні, технічні та економічні параметри розробки і товару-конкурента

Параметри	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (конкурент)	Новий		
Завадостійкість	100	60	0,6	0,5
Інформаційна ємність каналів передачі інформації	90	108	1,2	0,4
Швидкість прийняття рішень	60	69	1,15	0,1
Ціна за продукт, тис. грн.	2400	3000		-

Загальний показник конкурентоспроможності розробки (К) з урахуванням вищезазначених груп показників визначаємо за формулою:

$$K = \frac{I_{т.п.}}{I_{е.п.}} = \frac{1,1}{1,3} = 0,8, \quad (1.3)$$

де $I_{т.п.}$ – індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення); $I_{е.п.}$ – індекс економічних параметрів.

$$I_{е.п.} = \frac{P_{Неі}}{P_{Беі}} = \frac{3000}{2400} = 1,3, \quad (1.4)$$

де $P_{Неі}$, $P_{Беі}$ – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

Згідно розрахунків загальний показник конкурентоспроможності – 0,8 . Це означає, що наша розробка менш конкурентна на 20% від товару-аналога, оскільки дорожча.

4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно-конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи

4.2.1 Розрахунок витрат, що стосуються виконавців розробки

Основна заробітна плата кожного із розробників (дослідників) Z_0 , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери:

$$Z_0 = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (2.1)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн.

У 2018 році величини окладів (разом з встановленими доплатами і надбавками) рекомендується брати в межах (4000...8500) грн. за місяць; T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p = (21...23)$ дні; t – число робочих днів роботи розробника (дослідника).

Зроблені розрахунки зводимо до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Заробітна плата розробників

Посада	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник	10000	476	7	3332
Інженер-програміст	5000	238	20	4762
Консультанти	5000	238	7	1666
Всього:				9760

Основна заробітна плата робітників Z_p , якщо вони беруть участь у виконанні даного етапу роботи і виконують роботи за робочими професіями у випадку, коли вони працюють в наукових установах бюджетної сфери, розраховується за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n t_i \cdot C_i, \quad (2.2)$$

де t_i – норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин; n – число робіт по видах та розрядах; C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує дану роботу. C_i визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_r \cdot T_{zm}}, \quad (2.3)$$

де M_m – розмір мінімальної заробітної плати за місяць, грн.; в 2018 році мінімальна заробітна плата становить – 3723 грн., K_i – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду, T_r – число робочих днів в місяці; приблизно $T_r = 21 \dots 23$ дні; T_{zm} – тривалість зміни, зазвичай $T_{zm} = 8$ годин.

Величина чинних тарифних коефіцієнтів робітників відповідних розрядів для бюджетної сфери наведена в таблиці:

Розряд	1	2	3	4	5	6	7	8
K_i	1,00	1,09	1,18	1,27	1,36	1,45	1,54	1,64

Таблиця 2.2 – Заробітна плата робітників

Найменування робіт	Трудомісткість, н-год.	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка	Тариф. коеф.	Величина, грн.
Розробка пристрою передачі даних	100	10	40,3	1,82	4033
Розробка методу декодування рангових кодів	60	10	40,3	1,82	2418
Всього					6451

Додаткова заробітна плата Z_d всіх розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховується як (10...12)% від суми основної заробітної плати всіх розробників та робітників, тобто:

$$Z_d = 0,1 \cdot (Z_p + Z_o) = 0,1 \cdot (9760 + 6451) = 1621 \text{ грн.} \quad (2.4)$$

Нарахування на заробітну плату N_zp розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

де Z_0 – основна заробітна плата розробників, грн.; Z_p – основна заробітна плата робітників, грн.; Z_d – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.; β – ставка єдиного внеску на загальнообов’язкове державне соціальне страхування, % (приймаємо для 1-го класу професійності ризику 22%).

$$\begin{aligned} \text{Нзп} &= 0,22 \cdot (Z_p + Z_0 + Z_d) = 0,22 \cdot (9760 + 6451 + 1621) = \\ &= 3923 \text{ грн.} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Амортизація обладнання, комп’ютерів та приміщень А, які використовувались під час (чи для) виконання даного етапу роботи.

Дані відрахування розраховують по кожному виду обладнання, приміщенням тощо.

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування А в цілому бути розраховані за формулою:

$$A = \frac{Ц \cdot N_a \cdot T}{100 \cdot 12}$$

де $Ц$ – загальна балансова вартість всього обладнання, комп’ютерів, приміщень тощо, що використовувались для виконання даного етапу роботи, грн.; N_a – річна норма амортизаційних відрахувань. Для нашого випадку можна прийняти, що $N_a = (10...25)\%$; T – термін, використання обладнання, приміщень тощо, місяці.

Таблиця 2.3 - Амортизаційні відрахування

Найменування	Ціна, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання, м.	Сума амортизації
Acer Aspire E1-570G	9500	20	24	3800
Всього			3800	

Витрати на комплектуючі К, що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$K = \sum_{i=1}^n H_i \cdot Ц_i \cdot K_i, \text{ грн}$$

де N_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.; C_i – ціна комплектуючих i -го виду, грн.; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$; n – кількість видів комплектуючих.

Таблиця 2.5 - Комплектуючі, що використані на розробку

Найменування матеріалу	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість, грн.
JetBrains PyCharm	5860	1	6446
Windows 10	1150	1	1265
Acer Aspire E1-570G	8300	1	9130
Всього			16841

Витрати на силову електроенергію V_e , якщо ця стаття має суттєве значення для виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$V_e = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_p, \text{ грн.}$$

V – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2018 р. $V \approx 2,70$ грн./кВт; P – установлена потужність обладнання, кВт; Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин, K_p – коефіцієнт використання потужності; $K_p < 1$.

Потужність обладнання складає – 14 кВт.

Кількість годин роботи складає – 8 годин.

Коефіцієнт викор. потужності -0,98 .

$V_e=297$ грн.

Інші витрати V_{in} охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо.

Інші витрати V_b можна прийняти як (100...300)% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які були виконували дану роботу, тобто:

$$V_b = 2 \cdot (Z_o + Z_p) = 2 \cdot (9760 + 6451) = 32422 \text{ грн.} \quad (2.6)$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати на виконання даної частини (розділу, етапу) роботи – V .

$$B = 75115 \text{ грн.}$$

4.2.2 Розрахунок загальних витрат на виконання даної роботи

Загальна вартість всієї наукової роботи визначається за Взг формулою:

$$\text{Взг} = \frac{I_B}{\alpha} = \frac{32422}{0,9} = 36024 \text{ грн,} \quad (2.7)$$

де α – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даного етапу роботи, у відн. одиницях.

4.2.3 Прогнозування витрат на виконання та впровадження результатів науково-дослідної роботи

Прогнозування загальних витрат ЗВ на виконання та впровадження результатів виконаної наукової роботи здійснюється за формулою:

$$\text{ЗВ} = \frac{\text{Взг}}{\beta} = \frac{36024}{0,5} = 72049 \text{ грн,} \quad (2.8)$$

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної роботи.

Так, якщо розробка знаходиться: на стадії науково-дослідних робіт, то $\beta \approx 0,1$; на стадії технічного проектування, то $\beta \approx 0,2$; на стадії розробки конструкторської документації, то $\beta \approx 0,3$; на стадії розробки технологій, то $\beta \approx 0,4$; на стадії розробки дослідного зразка, то $\beta \approx 0,5$; на стадії розробки промислового зразка, $\beta \approx 0,7$; на стадії впровадження, то $\beta \approx 0,9$.

Етап роботи – розробка дослідного зразка $\beta = 0,5$.

4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

З метою прогнозування комерційних ефектів від реалізації розробки складемо таблицю вихідних показників, за рахунок яких і відбуватиметься отримання комерційного ефекту.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для прогнозування комерційного ефекту від реалізації розробки

Рік реалізації розробки	1	2	3
Кількість од. реалізації, шт.	500	1200	1460

Величина зростання ціни реалізації розробки, грн. – 600 грн.

Кількість продукції, що випускалась до впровадження розробки – 400 шт.

Збільшення чистого прибутку підприємства Π_i для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, розраховується за формулою:

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right) \quad (3.1)$$

де $\Delta\Pi_o$ – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником може бути ціна одиниці нової розробки; N – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки; ΔN – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки; Π_o – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки; n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки; λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. У 2018 р. ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт – 0,8333. З 2014 року ставка податку на додану вартість встановлена на рівні 17%, а коефіцієнт – 0,8547; ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати – 0,2...0,3; v – ставка податку на прибуток. У 2018 році – 21%, у 2013 році – 19%, а з 2014 року – 16%.

Збільшення чистого прибутку підприємства Π_i протягом першого року складе:

$$\Delta\Pi_1 = 61591 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства Π_i протягом другого року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе:

$$\Delta\Pi_2 = 311716 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом третього року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе:

$$\Delta\Pi_3 = 372885 \text{ грн.}$$

4.4. Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності

4.4.1 Визначення абсолютної ефективності вкладених інвестицій

Для цього користуються формулою:

$$E_{абс} = (ПП - PV), \quad (4.1)$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн.; PV – теперішня вартість інвестицій $PV = ЗВ$, грн.

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_{i=1}^t \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t} \quad (4.2)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн.; t – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки; τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1; t – період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки „0”.

$$ПП = 678356 \text{ грн.},$$

$$E_{abc} = 678356 - 72049 = 544638 \text{ грн.}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даного проекту (роботи).

4.4.2 Розрахунок відносної ефективності вкладених коштів в НДДКР

Для цього користуються формулою:

$$E_B = T_{ж} \sqrt{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 \quad (4.3)$$

де E_{abc} – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн.; PV – теперішня вартість інвестицій $PV = 3B$, грн.; $T_{ж}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_B = 1,9$$

Далі, розрахована величина E_B порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування, що дорівнює:

$$\tau = d + f, \quad (4.4)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2018 році в Україні $d = (0,14 \dots 0,2)$; f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05 \dots 0,1)$, але може бути і значно більше.

$$E_B = 1,9 \geq \tau = 0,2 + 0,1 = 0,3.$$

Оскільки величина $E_B > \tau_{\min}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

4.4.3 Розрахунок терміну окупності коштів, вкладених в наукову розробку

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{ок}$ можна розрахувати за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_B} = \frac{1}{1,9} = 0,5 \text{ року.} \quad (4.5)$$

Оскільки Ток < 3...5-ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним.

ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи були отримані наступні результати. В першому розділі був проведений варіантний аналіз методів розв'язання проблеми уніфікації представлення і передачі інформації про стани об'єктів управління і виконано техніко-економічне обґрунтування вибраних методів. і розроблено пристрій для передачі даних з використанням потенціальних кодів, а також виконана постановка задач на дослідження.

В другому розділі проведено математичне обґрунтування представлення інформації про стани об'єктів систем управління ранговими конфігураціями, наведені математичні моделі рангових конфігурацій, які дозволили визначити характеристики рангових кодів, якими ці конфігурації кодуються. Розроблено структурну схему пристрою передачі рангової інформації в мережах систем управління, наведено математичне обґрунтування роботи кодера інформації в рангову у вигляді штучної нейронної мережі, наведено результати дослідження роботи такого кодера на прикладі розпізнавання цифр такою мережею. Проведено дослідження впливу каналу зв'язку з завадами на процес передачі рангової інформації в інформаційній мережі, визначено переваги запропонованого коду над прийнятими стандартними КПВ кодами з точки зору надійності і коригуючої здатності.

В третьому розділі були розроблені алгоритм кодування рангової інформації DRP-кодами, алгоритм локалізації і виправлення помилок в коді на приймальному кінці системи передачі рангової інформації, алгоритм декодування прийнятого DRP-коду в рангову конфігурацію, а також розроблено програмне забезпечення в середовищі програмування Visual Studio і проведено його тестування. Розроблені методи, пристрої, алгоритми і програмне забезпечення дозволяють уніфікувати представлення інформації про стани об'єктів управління в різних параметричних просторах, і таким чином, підвищити ефективність її обробки і передачі під час прийняття рішень в системах управління.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Темников Ф. Е., Афонин В. А., Дмитриев В. И. Теоретические основы информационной техники / Ф.Е. Темников, В.А. Афонин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1979. - 512с.
2. Жураковський Ю.П., Полторац В.П. Теорія інформації і кодування: Підручник / Ю.П. Жураковський, В.П. Полторац. К.: Вища школа, 2001. – 256 с.
3. Кожевников В.Л., Кожевников А.В. Теорія інформації та кодування [Текст]: навч. посібник / В.Л. Кожевников, А.В. Кожевников. – Д.: НГУ, 2011. – 108 с.
4. Основы теории информации та кодування / І.В.Кузьмін І.В. Троцишин, А.І. Кузьмін, В.О. Кедрус, В.Р. Любчик. 3-тє вид., перероб. та допов. - Хмельницький: ХНУ, 2009. - 373 с.
5. Штейнберг С. Идентификация в системах управления / С. Штейнберг.–М.: Энергоатомиздат,1987.–196 с.
6. Дюбуа Д. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике / Д. Дюбуа, А. Прад. –М: Радио и связь, 1990. – 288 с.
7. Kosko B. Fuzzy entropy and conditioning / В. Kosko // Information sciences – 1976. – 2. - P.165-174.
8. Быков Н.М. Обобщенный метод принятия решений в системах управления и контроля / Н.М. Быков, О.С. Пастушенко, В.Г. Коберский // Контроль и управление в технических системах: 3 – я междунар. науч.-техн. конф. 18 - 21 сент. 1995 г.: тезисы докл. - I., 1995. - с. 223 - 224.
9. Биков М.М. Універсальний метод представлення інформації в інтелектуальних еволюційних системах / Биков М.М. // Відбір і обробка інформації. - 2006.- Вип. 24(100). С. 35-42.
10. Биков М.М., Конате К., Раїмі А. Теоретичні основи представлення і обробки інформації з використанням потенціальних кодів. // Вісник ВПІ, - №2, - 2009 р., с. 88-98.

11. Биков М.М., Філатова М.М. Визначення характеристик потенціальних кодів за моделями рангових конфігурацій. - Вісник Хмельницького національного університету, №5, 2013 р.– с. 92-97.
12. Биков М.М. Кластеризація даних з використанням потенціальних кодів / М.М. Биков, І.В. Кузьмін, А.І. Яковенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2001. - № 6. - 61-64 с.
13. Биков М.М., Гришук Т.В., Кучерук Н.О. Метод підвищення пропускну здатності каналу за рахунок використання потенціальних кодів. В кн. Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації. Тези доповідей другої Міжнародної конференції. М. Вінниця, 22-24 квітня 2009 р. - Вінниця: Універсум-Вінниця, 2009. - с.41-42
14. Злотник Б.М. Помехоустойчивые коды в системах связи / Злотник Б.М. – М.: Радио и связь, 1989.– 232 с.
15. М. Биков, І. Кузьмін, О. Коберський. Порівняльна характеристика ефективності структурних кодів системах розпізнавання мови // – В. кн. Труды V Міжнародної конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-99)». Вінниця, ВНТУ, 1999. – С.191- 194.
16. Preparata F., Nievergelt J. Difference-Preserving codes // IEEE Trans. Information Theory - 1974. – 20. - P. 643-649.
17. Быков Н.М. Методы и средства измерения и преобразования информации в системах машинного распознавания речи. Диссертация. - Винница, 1985, - 243 с.
18. Камерон П., ван Линт Дж. Теория графов, теория кодирования и блок-схемы / П. Камерон, Дж. ван Линт – М.: Мир, 1980. - 144 с.
19. Биков М.М., Гришук Т.В., Філатова М.М.Спосіб розпізнавання образів //- Патент на корисну модель 71189 А, 7 G10L19/04. Бюлетень №11 від 15.11.2014.
20. Данилов Е. П., Луцив В. Р.. Нейронные сети: современное состояние и перспективы // Оптико механическая промышленность. - №4. - 1991. - 20-32 с.
21. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика / Ф. Уоссермен - М.: Мир, 1992. – 276 с.

22. Горбань А.Н. Возможности нейронных сетей / Нейроинформатика - Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1998. – 214 с.
23. Горбань А.Н., Дунин-Барковский В.Л., Кирдин А.Н. и др. Нейроинформатика. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://oasis.peterlink.ru/dap/nlinks/book2/gl1.htm>.
24. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия - Телеком, 2001. - 382 с.
25. Борисюк Г.Н., Борисюк Р.М., Казанович Я.Б., Иваницкий Р.Р. Модели динамической активности при обработке информации мозгом – итоги “десятилетия” // Успехи физических наук. Т.172, - №2. 2002.
26. Руденко О. Г., Бодяньский Є. В. Штучні нейронні мережі. - Харків.: Компанія СМІТ, - 2006. - 404с.
27. Любунь З., Надала І., Синицький Л. Динамічні властивості пам'яті Хопфілда // Електроніка і зв'язь. - Випуск 2. - 1996. -340с.
28. Амосов Н.М. Моделирование мышления и психіки / Н.М. Амосов - Киев.: Наукова думка, 1965, – 304 с.
29. Tou J., Gonzalez R. Pattern Recognition Principle. – London-Amsterdam-Don Mill.: Addison-Wesley, 1974. – 411 p.Ассель Г. Маркетинг: принципы и стратегии. – М.: ИНФРА-М, 1999.
30. Кузьмин И.В. Основы моделирования сложных систем / И.В. Кузьмин, В.Ф. Кабаненко, Л.Р. Литвинов - К.: Вища школа, 1981, - 360 с.
31. Кветний Р.Н., Компанець М.М., Кривогубченко С.Г., Кулик А.Я. Основы техніки передавання інформації/ Підручник - Вінниця: Універсум, 2002.
32. Кветний Р.Н., Кулик А.Я., Кривогубченко С.Г., Кривогубченко Д.С. Методи адаптації пристроїв передавання до параметрів каналу зв'язку / Монографія. - Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2005.
33. Васюра А.С., Кривогубченко С.Г., Кулик А.Я., Компанець М.М., Худолій О.І. Техніка передавання аналогової та дискретної інформації / Навчальний посібник - Вінниця: ВДТУ, 1998.

34. Биков, М.М. Дискретний аналіз і теорія автоматів [Текст]: навч. посіб. / М.М. Биков, В.Д. Черв'яков. - Суми: СумДУ, 2016. - 354 с.
35. Биков М.М. та ін. Операційні пристрої обчислювальних машин та систем М.М. Биков, М.І. Клименко, Я.І. Капицький, А.П. Решетник – Київ: НМК ВО, 1991. – С.200.
36. Биков М. М. Основи МП техніки. Лабораторний практикум / М.М. Биков, Г. Л. Лисенко, В.А. Лужецький, Т. Б. Мартинюк– Вінниця , 2003. – 64 с.
37. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е изд.: Пер. с англ. / Б. Скляр. – М: Изд. дом. “Вильямс”, 2003. – 1104 с.
38. Акулиничев Ю.П., Бернгардт А.С. Теория и техника передачи информации. Учебное пособие / Ю. П. Акулиничев, А. С. Бернгардт. — Томск: Эль Контент, 2012. — 210 с. ISBN 978-5-4332-0035-7
39. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення: ДСТУ 3008 – 95 – [Чинний від 23-02-1995] - К.: Держстандарт України, 1995 р. – 38 с.
40. Консон А. Экономические расчеты в приборостроении.– М.: Наука, 1988, – 370 с.
41. Козловський В. О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах / В.О. Козловський .– Вінниця: ВНТУ, 2003,-76 с.
42. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах / Методичні вказівки для студентів технічних спеціальностей факультетів: ФАКСУ, ФФЕЛТ, ФКСМ, ФКІ, ФТАКМ, ФМБЕП, ФРТТК. Уклад. В.О. Козловський. – Вінниця: ВДТУ, 2002. – 72 с.
43. Податковий кодекс України, Ст. 1-90.

Додатки

Додаток А
(обов'язковий)
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри КСУ ВНТУ
д.т.н., проф. В.М. Дубовой

«__» _____ 2018 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
«Розробка ефективних методів і пристроїв представлення і передачі інформації в
системах управління»

08–01.МКР.014.00.000 ТЗ

Керівник магістерської кваліфікаційної
роботи: проф., к.т.н.

М. М. Биков

“__” _____ 2018 р.

Виконавець: ст. гр. 2АКІТ–17м

А. І. Хвалько

“__” _____ 2018 р.

Вінниця 2018

1. Назва та галузь застосування

1.1. Назва – Розробка ефективних методів і пристроїв представлення і передачі інформації в системах управління.

1.2. Галузь застосування – системи передачі інформації, системи управління і автоматики.

2. Підстава для проведення розробки.

Тема магістерської дипломної роботи затверджена наказом по ВНТУ № 238 від “28” __09____ 2018 р.

3. Мета та призначення розробки.

Підвищення ефективності процесу передачі інформації про стани системи управління.

4. Джерела розробки.

Магістерська дипломна робота виконується вперше. В ході проведення розробки повинні використовуватись такі документи:

1. Темников Ф. Е., Афонин В. А., Дмитриев В. И. Теоретические основы информационной техники. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1979. - 512с.
2. Быков Н.М. Обобщенный метод принятия решений в системах управления и контроля / Н.М. Быков, О.С. Пастушенко, В.Г. Коберский // Контроль и управление в технических системах: 3 – я междунар. науч.-техн. конф. 18 - 21 сент. 1995 г.: тезисы докл. - I., 1995. - с. 223 - 224.
3. Биков М.М. Кластеризация данных с использованием потенциальных кодов / М.М. Биков, I.В. Кузьмін, А.І. Яковенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2001. - № 6. - 61-64 с.
4. Биков М.М., Конате К., Раїмі А. Теоретичні основи представлення і обробки інформації з використанням потенціальних кодів. // Вісник ВПІ, - №2, - 2009 р., с. 88-98.

5. Вимоги до розробки.

5.1. Перелік головних функцій:

- кодування інформації оптимальним кодером;
- кодування інформації кодером каналу;
- перетворення модулятором інформації в інформаційний сигнал;
- пошук та представлення у зручному для користувача форматі даних;
- перетворення декодером кодового сигналу в повідомлення.

5.2. Основні технічні вимоги до розробки.

5.2.1. Вимоги до програмної платформи:

- WINDOWS 7\10;

- Microsoft Visual Studio;

5.2.2. Умови експлуатації системи:

- робота на стандартних ПЕОМ в приміщеннях зі стандартними умовами;
- можливість цілодобового функціонування системи;
- текст програмного забезпечення системи є цілком закритим.

6. Економічні показники

До економічних показників входять:

- термін окупності не більше 0,5 року;
- розмір капіталовкладень не більше 36024 грн.;
- економічний ефект не менше 544638 грн.;
- рентабельність не менше 21 %;
- інші економічні переваги у порівнянні з аналогами.

7. Стадії та етапи розробки.

7.1 Пояснювальна записка:

- Техніко-економічне обґрунтування «12» вересня 2018 р.
- Розробка пристрою передачі рангової інформації і його математичне обґрунтування «22» вересня 2018 р.
- Моделювання каналу передачі інформації з завадами «03» жовтня 2018 р.
- Розробка алгоритмів і програмного забезпечення кодування і декодування рангової інформації «10» листопада 2018 р.
- Підготовка економічної частини «12» грудня 2018 р.
- Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу та презентації «22» грудня 2018 р.
- Апробація результатів дослідження. Публікації «10» січня 2019 р.
- Захист МКР «22» січня 2019 р.

7.2 Графічні матеріали:

- Структурна схема системи «06» січня 2019 р.
- Моделювання помилок коду «06» січня 2019 р.
- Схеми алгоритмів функціонування системи «06» січня 2019 р.
- Результати машинного експерименту «06» січня 2019 р.

8. Порядок контролю і приймання.

8.1. Хід виконання роботи контролюється керівником роботи. Рубіжний контроль провести до «28» грудня 2019 р.

8.2. Атестація проекту здійснюється на попередньому захисті. Попередній захист магістерської дипломної роботи провести до «16» січня 2019 р.

8.3. Підсумкове рішення щодо оцінки якості виконання магістерської кваліфікаційної роботи приймається на засіданні ДЕК. Захист магістерської кваліфікаційної роботи провести «22» січня 2019 р.

Додаток Б
Лістинги програми кодування DRP-кодом

```
#include<stdlib.h>
#include<conio.h>
#include <stdio.h>

int main()
{
    int nSize, nSizeVaga;
    int i,j;
    clrscr();

    printf("Vvedit kilkist vershun:");
        scanf("%d",&nSize);

    printf("Vvedit kilkist vag:");
        scanf("%d",&nSizeVaga);

    int **mas = (int**)malloc(1000);
        for(i=0;i<nSize;i++)
            mas[i]=(int*)malloc(1000);

    int **masVuh = (int**)malloc(1000);
        for(i=0;i<nSizeVaga;i++)
            masVuh[i]=(int*)malloc(1000);

    for(i=0;i<nSize;i++)
    {
        for(j=0;j<nSizeVaga;j++)
            masVuh[i][j] = 0;
    }
    printf("\nZapovnennya matruci:");

    for(i=0;i<nSize;i++)
    {
        for(j=0;j<nSize;j++)
        {
            scanf("%d",&mas[i][j]);
        }
    }
    printf("\nVhidna matrucya:");

    for(i=0;i<nSize;i++)
    {
```

```
        printf("\n");
        for(j=0;j<nSize;j++)
        {
            printf(" %1.1d ",mas[i][j]);
        }
    }
    for(i=0;i<nSize;i++)
    {
        for(j=0;j<nSize;j++)
        {
            if(mas[i][j]>0)
            {
                masVuh[i][mas[i][j]-1] = 1;
            }
        }
    }
    printf("\nVuhidna matrucya:");

    for(i=0;i<nSize;i++)
    {
        printf("\n");
        for(j=0;j<nSizeVaga;j++)
        {
            printf(" %d ",masVuh[i][j]);
        }
    }

    getch();
    return 0;
}
```

Лістинг програми декодування DRP-коду

```

#include <iostream>
#include <string>
#include <vector>
#include <stdlib.h>
#include <conio.h>
using namespace std;

int main()

{

setlocale(LC_CTYPE, "ukr");

int Msize, Nsize;

int i,j,p;

// Введення кількості кодових слів і їх розрядності

    cout << "\n" << "Введіть кількість слів коду Msize";

    cin >> Msize;

    cout << "Msize =" << Msize << endl;

    cout << "\n" << "Введіть кількість розрядів коду Nsize";

    cin >> Nsize;

    cout << "Nsize =" << Nsize << endl;

// Введення DRP-коду MKOD[M,N]

    int MKOD[Msize][Nsize];

    for (i=0; i<Msize; ++i)

        {

            for (j=0; j<Nsize; ++j)

                cin >> arr[i][j];

        }

// Виведення прийнятого коду

    cout<< "\n" << "MKOD: " <<endl;

    for ( i=0; i<Msize; ++i)

        {

            for (int j=0; j<size; ++j)

                cout<< MKOD[i][j] << "\t";

        }

// Обнулення матриці рангів MINC[M,M-1]

```

```

int MINC[Msize][Msize-1];

for (i=0; i<Msize; ++i)
{
    for (j=0; j<Msize-1; ++j)

        MINC[i][j]=0;

}

// Формування матриці рангів MINC[M,M-1]

for (i=0; i<Msize; ++i)

{

    p=0;

    for (j=0; j<Nsize; ++j)

        if (MKOD[i][j] == 1)

            {

                p++;

                MINC[i][p]=Nsize+1-j;

            }

}

// Виведення рангової конфігурації MINC[M,M-1]

cout<< "\n" << "MINC: " <<endl;

for (i=0; i<Msize; ++i)

{

    for (j=0; j<Msize-1; ++j)

        cout<< MINC[i][j] << "\t";

}

_getch();

return 0;

```

Додаток В
(Обов'язковий)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КСУ
д.т.н., проф. В.М. Дубовой

« _____ » _____ 2019 р.

ПЕРЕЛІК
ГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

для захисту магістерської кваліфікаційної роботи
на тему

АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОПАЛЕННЯМ У
«РОЗУМНОМУ» БУДИНКУ

1. Математичні моделі рангових конфігурацій.
2. Математична модель рангового коду.
3. Структура системи прийняття рішень з передачею інформації по каналах зв'язку.
4. Схема програми навчання штучної нейронної мережі.
5. Моделювання помилок коду.
6. Алгоритм кодування рангової конфігурації DRP-кодом.
7. Схема алгоритму роботи декодера.
8. Схема алгоритму виявлення та корегування помилок.
9. UML-діаграма послідовності.
10. Результати машинного експерименту.

Розробив: Хвалько А. І.

_____ (підпис) (дата)

Перевірив: Биков М. М.

_____ (підпис) (дата)

Рецензент: Васюра А. С.

_____ (підпис) (дата)

Математичні моделі рангових конфігурацій

Визначення 4. Ранговою конфігурацією простору m символів називається множина $(m-1)$ – елементних підмножин, елементами кожної підмножини є ранги відстаней, інцидентних одному і тому ж об'єкту. Різними вважаються конфігурації, які відрізняються, принаймні, одним елементом хоча б в одній з підмножин.

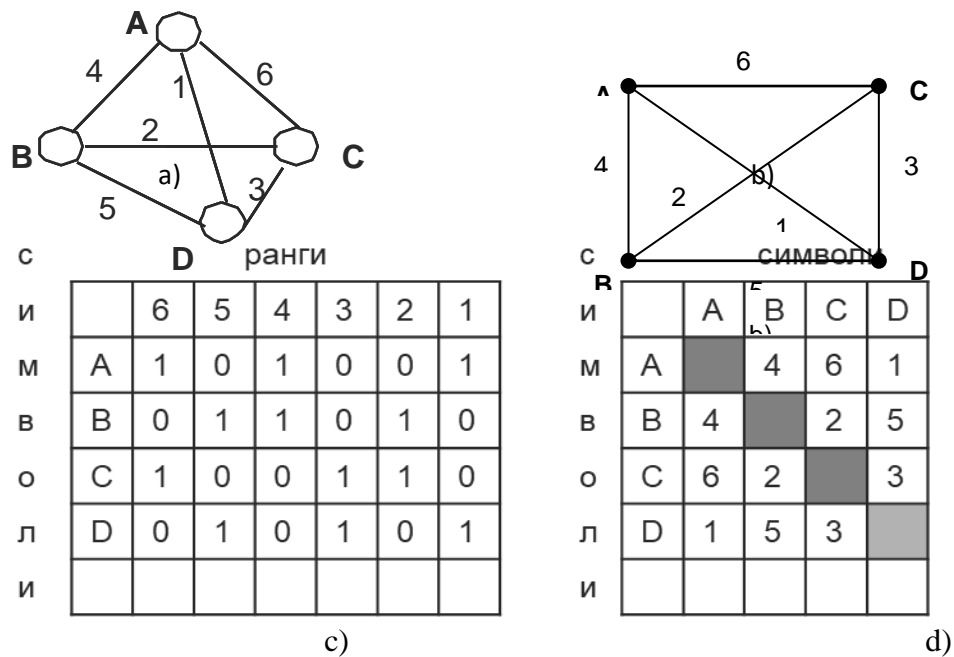


Рис.2. – Моделі рангових конфігурацій: а) – тримірний симплекс, б) – повний регулярний граф, с) - матриця інциденцій (DRP-код), d) – матриця суміжностей рангів

Математична модель рангового коду

$$H = f(D), \quad (6)$$

$$\text{де } H = \{h(u_{ij})\}, \quad h(u_{ij}) = \sum_{l=1}^q h(b_l^i, b_l^j), \quad D = \{d(C_{ij})\}, \quad d(C_{ij}) = \sum_{l=1}^q d(s_l^i, s_l^j)$$

$$h(b_l^i, b_l^j) = h_{ij}, \quad d(s_l^i, s_l^j) = d_{ij}.$$

Теорема 1:

$$T1 \stackrel{\varphi}{\equiv} P1 \Rightarrow \forall_{i,j} ((d_{i_1 j_1} \leq d_{i_2 j_2}) \Rightarrow (h_{i_1 j_1} \leq h_{i_2 j_2})), \quad i \in \{1, \dots, m-1\}, j \in \{1, \dots, m\}, \quad (7)$$

якщо має місце $P1$, то впорядкована множина відстаней між двійковими кодами символів повинна бути ізоморфним відображенням впорядкованої множини відстаней між символами.

Наслідок 1. Для досягнення ідентичних результатів прийняття рішень на множині двійкових стрічок і на множині двійкових символів необхідно і достатньо, щоб відображення в формулі (6) було ізоморфізмом.

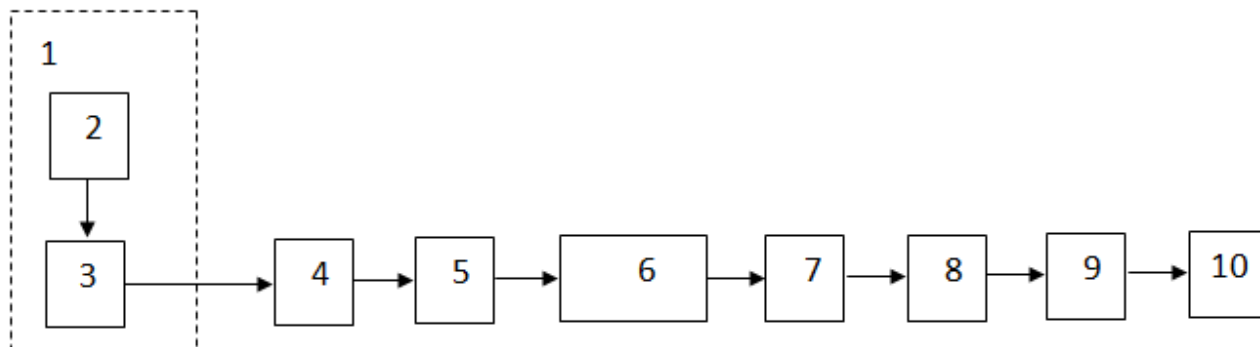
Наслідок 2. Відображення $\varphi : S \rightarrow B$ зберігає рангові порядки відстаней. Іншими словами, простір двійкових кодів повинен бути ізоморфним простору символів з точністю до рангів відстаней.

Визначення 3. Кодом B , що зберігає ранги відстаней (DPR-код), є відображення $i \rightarrow B_i$ множини $M = \{1, 2, \dots, m\}$ в множини $\{0, 1\}^n$ двійкових послідовностей довжини n таке, що

$$\forall_{i,j} (R(d_{ij}) = r \Rightarrow R(h_{ij}) = r), \quad r = \overline{1, m_r}, \quad i, j \in M \quad (8)$$

$R(d_{ij})$ - ранг відстані d_{ij} між об'єктами i і j в просторі об'єктів, $R(h_{ij})$ - ранг відстані h_{ij} в просторі двійкових кодів

Структура системи прийняття рішень з передачею інформації по каналах зв'язку



Архітектура нейромережі Хопфілда

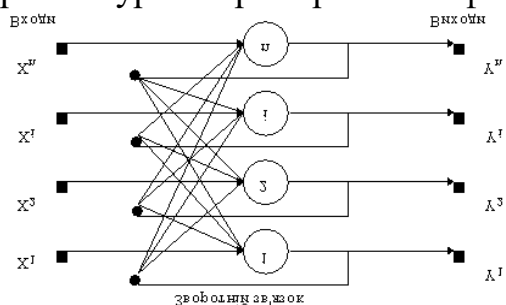
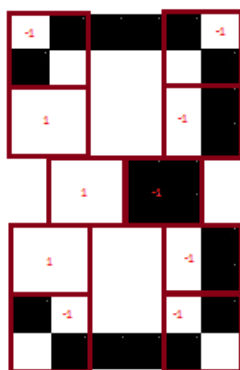


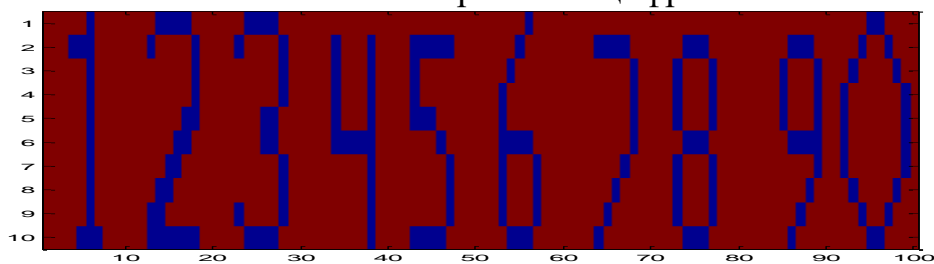
Схема розташування площадок-ознак на рисунку цифри 3



Приклад матриці рангів ваг міжнейронних зв'язків

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	44	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	35	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	33	16	7	17	0	0	0	0	0	0	0	0
6	41	11	19	28	31	0	0	0	0	0	0	0
7	9	32	43	30	18	34	0	0	0	0	0	0
8	41	19	9	10	11	44	9	0	0	0	0	0
9	37	43	13	26	26	20	4	42	0	0	0	0
10	30	30	3	44	6	14	17	36	22	0	0	0
11	30	5	7	40	13	39	45	15	35	21	0	0
12	25	36	4	44	4	18	13	28	22	12	36	0
13	7	32	33	29	18	34	11	7	15	9	35	0
14	28	5	4	19	40	29	7	1	18	32	45	0
15	17	10	24	20	28	39	41	19	32	6	43	0
16	20	43	36	1	17	18	20	41	41	7	33	0
17	27	10	4	16	30	45	26	8	34	32	44	0
18	40	2	30	35	28	15	1	14	7	19	6	0

Еталонні зображення цифр



Модельовання помилок коду

Ранги → Символи ↓	6	5	4	3	2	1
A	1	0	1	0	0	1
B	0	1	1	0	1	0
C	1	0	0	1	1	0
D	0	1	0	1	0	1

а)

Ранги → Відстані ↓	6	5	4	3	2	1
d(AC)	1	0	0	0	0	0
d(AB)	0	0	1	0	0	0
d(AD)	0	0	0	0	0	1
d(BC)	0	0	0	0	1	0
d(BD)	0	1	0	0	0	0
d(CD)	0	0	0	1	0	0

б)

Правильний DRP-код рангової конфігурації (а) і перевірна матриця рангових відстаней для нього (б)

Ранги → Символи ↓	6	5	4	3	2	1
A	1	0	1	0	0	1
B	1	0	1	0	1	1
C	1	0	0	1	1	0
D	0	1	0	1	0	1

а)

Ранги → Відстані ↓	6	5	4	3	2	1
d(AC)	1	0	0	0	0	0
d(AB)	1	0	1	0	0	0
d(AD)	0	0	0	0	0	1
d(BC)	1	0	0	0	1	0
d(BD)	0	0	0	0	0	0
d(CD)	0	0	0	1	0	0

б)

DRP-код рангової конфігурації (а) з помилкою в кодовому слові В (“1” з розряду 5 перейшла в 6 розряд, а на її місці став “0”) і перевірна матриця рангових відстаней для нього (б)

Ранги → Символи ↓	6	5	4	3	2	1
A	1	0	1	0	0	1
B	0	0	1	0	1	1
C	1	0	0	1	1	0
D	0	1	0	1	0	1

а)

Ранги → Відстані ↓	6	5	4	3	2	1
d(AC)	1	0	0	0	0	0
d(AB)	0	0	1	0	0	1
d(AD)	0	0	0	0	0	1
d(BC)	0	0	0	0	1	0
d(BD)	0	0	0	0	0	1
d(CD)	0	0	0	1	0	0

б)

DRP-код рангової конфігурації (а) з помилкою в кодовому слові В (“1” з розряду 5 перейшла в 1 розряд, а на її місці став “0”) і перевірна матриця рангових відстаней для нього (б)

Алгоритм кодування рангової конфігурації DRP-кодом

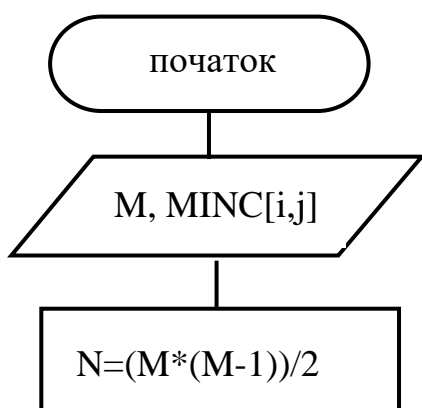


Схема алгоритму роботи декодера

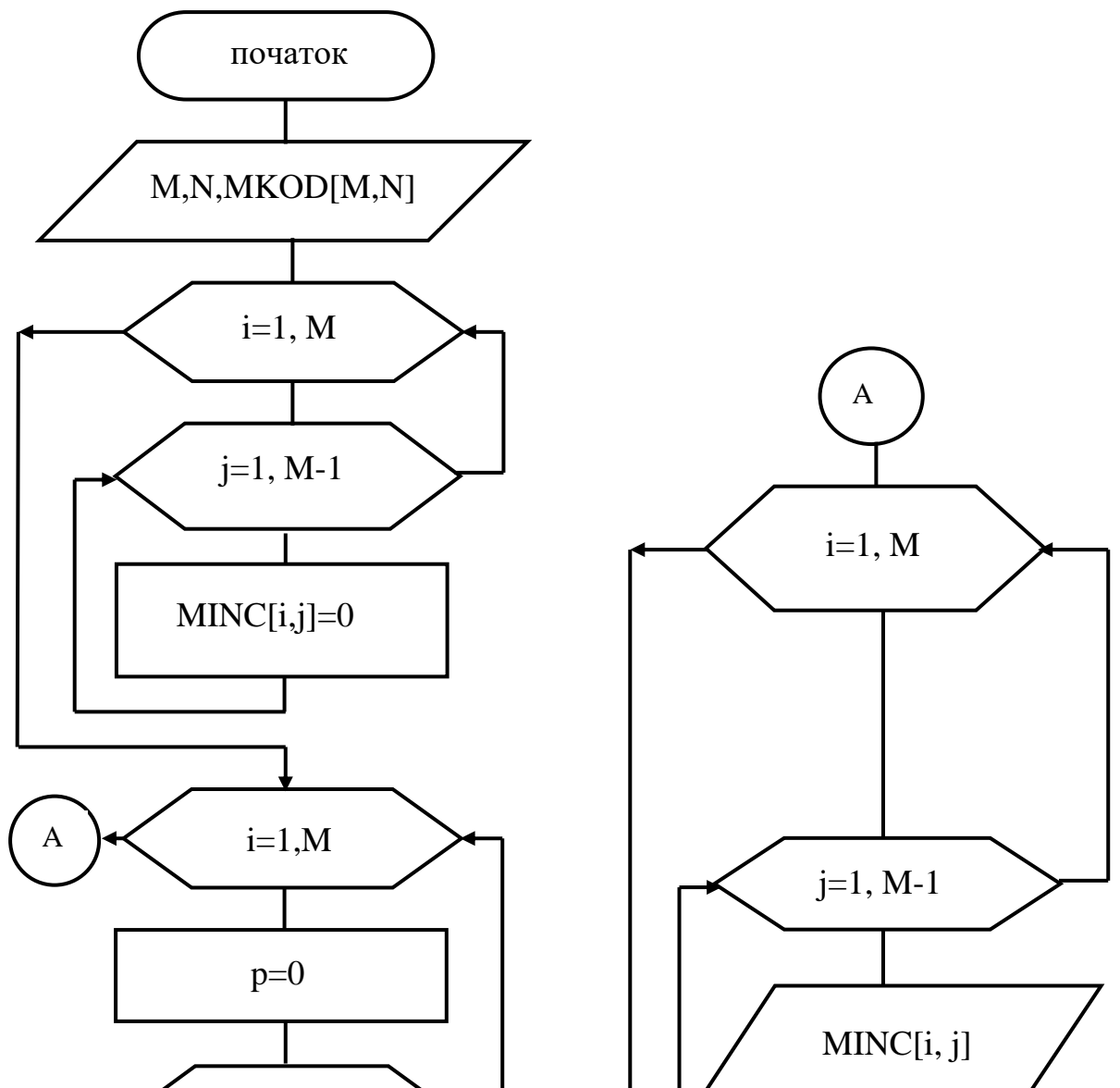
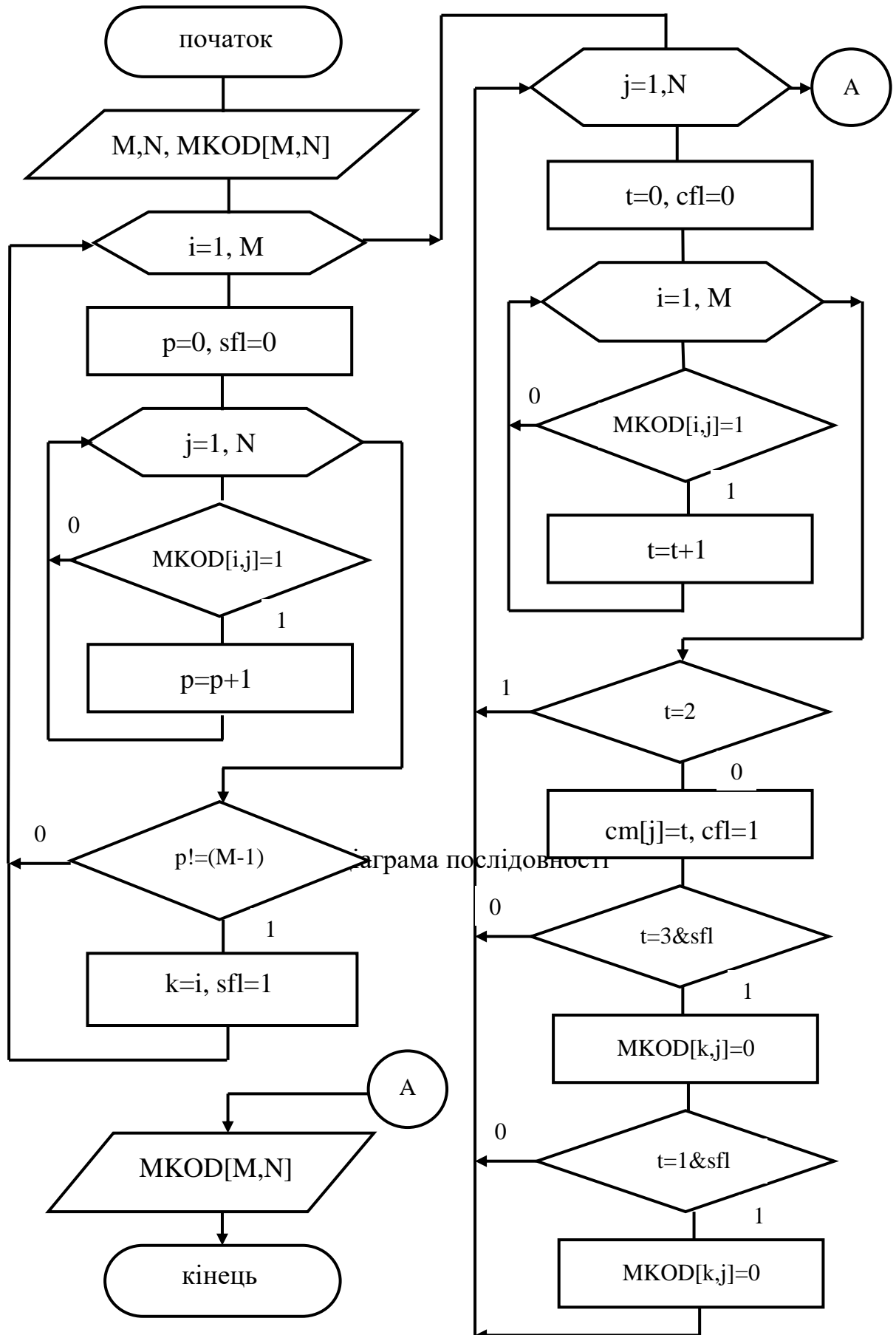
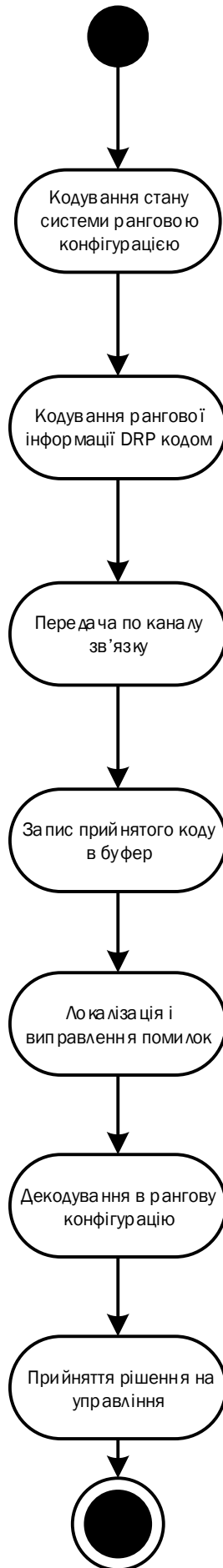


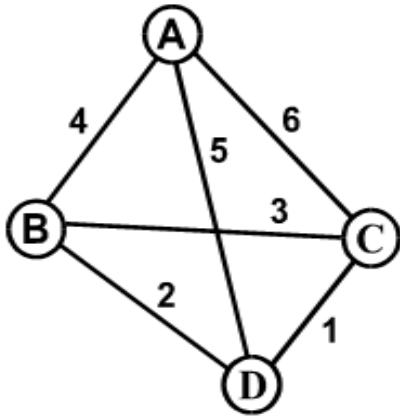
Схема алгоритму виявлення та корегування помилок





Результати машинного експерименту

Кодування конфігурації



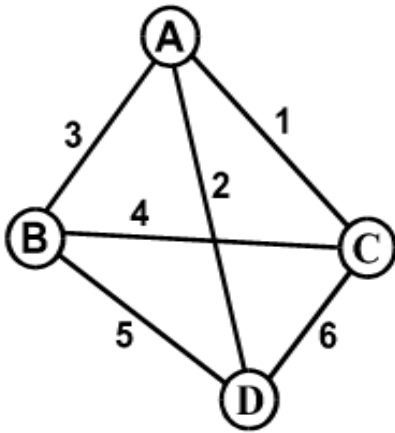
a)

4	5	6
2	3	4
1	3	6
1	2	5

б)

O \ R	6	5	4	3	2	1
A	1	1	1	0	0	0
B	0	0	1	1	1	0
C	1	0	0	1	0	1
D	0	1	0	0	1	1

в)



a)

3	1	2
3	4	5
1	4	6
2	5	6

б)

O \ R	6	5	4	3	2	1
A	0	0	0	1	1	1
B	0	1	1	1	0	0
C	1	0	1	0	0	1
D	1	1	0	0	1	0

в)