

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

радіотехнічних систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: "Метод підвищення роздільної здатності перетворення растрової роз-

(назва теми)

гортки зображення в кругову"

(назва теми)

Виконав: студент VI курсу групи РРм-61

Спеціальності (напряму підготовки): 172

"Телекомунікації та радіотехніка"

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

Р. В. Заровенний

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Керівник

Б.І. Яворський

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Нормоконтроль

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Рецензент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

м. Тернопіль – 20 19 рік.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем

(повна назва кафедри, циклової комісії)

Освітній ступінь магістр

Напрямок підготовки: 172 "Радіотехніка"

(шифр і назва)

Спеціальність 172 "Телекомунікації та радіотехніка"

(шифр і назва)

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри

В.Л. Дунець

(ім'я, по батькові прізвище)

“ ”

20 19 р.

**ЗАВДАННЯ**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

Заровенному Роману Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема: “Метод підвищення роздільної здатності перетворення растрової розгортки зображення в кругову”

Керівник: Яворський Богдан Іванович, д.т.н., проф., професор кафедри РТ

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

Затверджені наказом по університету від “26” листопада 20 19 року № 4/7-808

2 Термін подання студентом проекту (роботи): грудень 2019 р.

3 Вихідні дані роботи: Об'єкт дослідження: процеси виявлення, розрізнення, оцінки параметрів та фільтрації сигналів.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Вступ.

Розділ 1 Кругова розгортка, як елемент представлення зображень

Розділ 2 Обробка зображень

Розділ 3 Метод та алгоритми обробки зображень

Розділ 4 Спеціальна частина

Розділ 5 Обґрунтування економічної ефективності

Розділ 6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Розділ 7 Екологія

Висновки

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)



## АНОТАЦІЯ

Заровенний Р.В. Метод підвищення роздільної здатності перетворення рядкової розгортки зображення в кругову – Рукопис.

Дипломна робота на здобуття освітнього ступеня магістра 172 – “Телекомунікації та радіотехніка”. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль 2019.

У дипломній роботі магістра проведено дослідження та аналіз методів та алгоритмів перетворення рядкової розгортки зображення в кругову.

Розроблено метод, який покращить якість та підвищить швидкість обробки відтворюваної інформації. На підставі запропонованого методу розроблено алгоритм перетворення растрового зображення в кругове. Проведено математичне моделювання розробленого методу і алгоритму та проведено порівняльний аналіз з алгоритмами LTU та CORDIC.

Ключові слова: алгоритм, зображення, CORDIC, кругова, розгортка, роздільна здатність, рядкова

## ANNOTATION

Zarovenny R. Method of increasing the resolution of converting raster of image into a circular – Manuscript.

The diploma paper for obtaining the Master's degree 172 – Telecommunications and radio engineering – Ivan Puluj Ternopil National Technical University, Ternopil 2019.

In the master's thesis the research and analysis of methods and algorithms for converting a line scan of an image into a circular image were carried out.

A method has been developed that will improve the quality and speed of processing of the reproduced information. Based on the proposed method, an algorithm for converting a raster image into a circular image was developed.

Mathematical modeling of the developed method and algorithm is performed and comparative analysis is performed with LTU and CORDIC algorithms.

Keywords: ALGORITHM, IMAGES, CORDIC, CIRCULAR, DRAWING, RESOLUTION, raster

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
РОЗДІЛ 1 КРУГОВА РОЗГОРТКА, ЯК ЕЛЕМЕНТ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ .....	11
1.1. Радіально-кругова розгортка індикатора кругового огляду (ІКО) радіолокаційної станції.....	11
1.2. Пристрої інертності зорового сприйняття .....	18
1.3. Кутове та радіальне сканування в магніто-резонансній томографії	25
1.4. Висновки до розділу 1 .....	27
РОЗДІЛ 2 ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ.....	28
2.1. Організація обробки графічних даних представлення і кодування кольору .....	29
2.2. Растрова графіка .....	33
2.3. Векторна графіка.....	34
2.4. Перетворення координат і фігур .....	35
2.5. Зберігання зображень .....	41
2.6. Висновки до розділу 2 .....	47
РОЗДІЛ 3 МЕТОД ТА АЛГОРИТМ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ .....	48
3.1. Реалізація на основі LUT.....	49
3.2. Реалізація на основі CORDIC .....	50
3.3. Пропонований метод .....	53
3.4. Огляд системи .....	57
3.5. Аналіз точності запропонованої системи.....	58
3.6. Результати та порівняння.....	61
3.7. Порівняльний аналіз .....	62
3.8. Розширення на зображення з більшою роздільною здатністю .....	65
3.9. Висновки до розділу 3 .....	71
РОЗДІЛ 4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА .....	72
4.1. Програмне середовище математичного моделювання MATLAB ...	72

4.2. Середовище Simulink.....	76
РОЗДІЛ 5 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	82
5.1. Розрахунок норм часу на виконання науково–дослідної роботи ....	82
5.2. Розрахунок витрат на проведення НДР .....	83
5.3. Розрахунок ціни НДР і економічна ефективність від використання програмної системи .....	88
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	90
6.1. Охорона праці.....	90
6.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	94
РОЗДІЛ 7 ЕКОЛОГІЯ.....	99
7.1. Роль науково-технічного прогресу в забезпеченні якісного стану довкілля .....	99
7.2. Вимоги до моніторів (ВДТ) та ПЕОМ.....	101
ВИСНОВКИ.....	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	105
ДОДАТКИ 112	

## ВСТУП

*Актуальність теми дослідження.* Всім відомо, що більшу частину відомостей і уявлень про навколишній світ людина отримує за допомогою зору. Тому дуже важливо існування засобів представлення інформації “для зору” і автоматичних засобів обробки такої інформації.

Загальний напрямок, в рамках якого вирішуються такі завдання, отримав назву комп’ютерної графіки. Іншими словами, комп’ютерною графікою називають область діяльності, в якій комп’ютери і програмне забезпечення використовуються як інструмент створення і обробки зображень.

Оскільки комп’ютер – пристрій, призначений для обробки дискретної цифрової інформації, то потрібен метод формування зображення на основі саме такої інформації. Метод, яким найчастіше представляється графічна інформація, отримав назву растрового. Растрова графіка – метод представлення та зберігання зображення у вигляді позначення кольорів точок (пікселів), які перебувають у вузлах прямокутної рівномірної координатної сітки – растра.

Магнітно-резонансна томографія, радіолокація, радіонавігація persistence of vision display or POV display, що об’єднує ці такі три різні галузі – відображення інформації. У всіх трьох присутня радіально-кругова розгортка для представлення зображення на екрані. Усі вони потребують забезпечення високої роздільної здатності (pixel) для відображення інформації, на екрані. Тому власне виникає потреба в проектуванні методів та алгоритмів, які дозволять збільшити точність та роздільну якість відображення інформації. Власне відображення може відбуватись як на прямокутних, квадратних, круглих та спінінг екранах (розгортання зображення за допомогою лінійки світлодіодів). Виникає потреба перетворення растрової розгортки зображення в кругову та навпаки.

Виробничі поверхні великої площі, що містять мікро- та нанорозмірні характеристики та біомедичні цілі з великим видом, мотивують розвиток систем візуалізації великої площі та високої роздільної здатності. Порівняно з скануванням постійної лінійної швидкості та растровим скануванням, сканування постійної кутової



швидкості можуть значно послабити перехідну поведінку, збільшуючи при цьому швидкість зображення. У цій роботі ми теоретично аналізуємо та оцінюємо швидкість, прискорення та поштовхи концентричної кругової вибірки траєкторії (CCTS). Потім ми представляємо систему відеоспостереження CCTS, яка демонструє менші вібрації та менші помилки відображення, ніж растрове сканування для створення декартового композитного зображення, зберігаючи порівняно високу швидкість сканування для великої області сканування.

Метод та алгоритм, запропоновані в даній роботі, призначені для використання в магнітно-резонансній томографії, радіолокації, радіонавігації та persistence of vision display or POV display. Поштовхом до розвитку таких систем стало широке поширення власне цих систем, особливо остання, як система яка використовується для реклами та в інших сферах де потрібна візуалізація інформації, а в даному пристрої зображення, як статичного так і динамічного.

**Мета і задачі дослідження.** Метою даної роботи є створення методу та алгоритму, який збільшує швидкість обробки та компенсує спотворення зображення що відбуваються при перетворенні растрової розгортки в кругову та навпаки.

**Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати наступні задачі:**

- провести аналіз існуючих методів та алгоритмів перетворення растрового зображення в радіально-кругове;
- розробити метод, який покращить якість та підвищить швидкість обробки відтворюваної інформації;
- на підставі запропонованого методу розробити алгоритм перетворення растрового зображення в кругове;
- провести математичне моделювання запроєктованого методу і алгоритму та провести порівняльний аналіз з алгоритмами LTU та CORDIC.

**Об'єкт дослідження:** метод та алгоритм перетворення растрового зображення в кругове.

**Предмет дослідження:** система перетворення растрового зображення в кругове.

**Методи дослідження:** аналіз та узагальнення – при проведенні аналізу існуючих методів і алгоритмів перетворення растрової розгортки в кругову; формалізації та математичного моделювання – при побудові моделей перетворення растрової розгортки в кругову; проектування та програмування – при проектуванні перетворення растрової розгортки в кругову; експеримент та вимірювання – для апробації запропонованого алгоритму перетворення растрової розгортки в кругову.

**Наукова новизна отриманих результатів.** У магістерській роботі вперше:

- розроблено метод перетворення растрової розгортки в кругову;
- розроблено алгоритм, що дозволяє знизити обчислювальні витрати в порівнянні з існуючими алгоритмами при збереженні необхідної точності перетворення растрової розгортки в кругову.

**Практичне значення отриманих результатів.** Впровадження методу, алгоритму перетворення зображень дозволить:

1. Знизити обчислювальні витрати в порівнянні з існуючими алгоритмами при збереженні необхідної точності.
2. Запропонований метод та алгоритм дозволять зменшити час обробки зображення.
3. Математичне моделювання та експериментальна перевірка спроектованого методу та алгоритму в порівнянні з іншими показала, що даний метод та алгоритм дозволяє підвищити точність та якість відтворення зображення.

**Апробація результатів досліджень.** Окремі результати роботи доповідались VIII Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій”. Тернопіль, ТНТУ, 27 – 28 листопада 2019 р.

**Структура роботи.** Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається із вступу, 7 розділів, висновків, бібліографії. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 111 арк. формату А4.

## РОЗДІЛ 1

### КРУГОВА РОЗГОРТКА, ЯК ЕЛЕМЕНТ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Першим прототипом сучасних систем з круговою розгорткою, була радіально-кругова розгортка індикатора кругового огляду (ІКО) радіолокаційної станції. За допомогою даної розгортки на ІКО в полярній системі координат відображалась інформація про положення об'єктів в просторі відносно радіолокаційної станції.

1.1. Радіально-кругова розгортка індикатора кругового огляду (ІКО) радіолокаційної станції

Для отримання зображення на екрані ІКО повинен бути створений полярний растр, який називають радіально-круговою розгорткою (РКР) електронного променя. Якщо використовуються електронно-променеві трубки (ЕПТ) з магнітним керуванням, то необхідно створювати однорідне відхиляюче магнітне поле, напруженість якого повинна змінюватися згідно із законом, що забезпечує необхідну радіальну розгортку. При цьому одночасно повинен відбуватися відносно повільний поворот магнітного поля в площині, перпендикулярній осі ЕПТ з кутовою швидкістю, яка дорівнює кутовій швидкості обертання антени по азимуту. Для повороту і зміни напруженості магнітного поля на практиці застосовуються такі методи:

1. Метод обертових відхиляючих котушок (ВК), які обертаються та живляться струмом постійної амплітуди;

2. Метод нерухомих ВК, що живляться струмом змінної амплітуди.

1.1.1. Метод обертових відхиляючих котушок (ВК), які обертаються та живляться струмом постійної амплітуди

Функціональна схема типового ІКО, що використовує обертові ВК для створення РКР див. рис. 1.1. Для виключення запуску розгортки від випадкових імпульсних завад і здійснення запуску імпульсами стабільними по амплітуді призначений обмежувач.

Розширювач являє собою очікувальний мультивібратор і забезпечує нормальну роботу генератора (ЛЗС). Струм пилоподібної форми, який протікає в відхиляючих котушках, формує змінне магнітне поле, що переміщує електронний промінь уздовж радіуса, тобто утворює лінійну розгортку від центру до краю ЕПТ по радіусу див. рис. 1.2.



Рисунок 1.1. Структурна схема типового ІКО

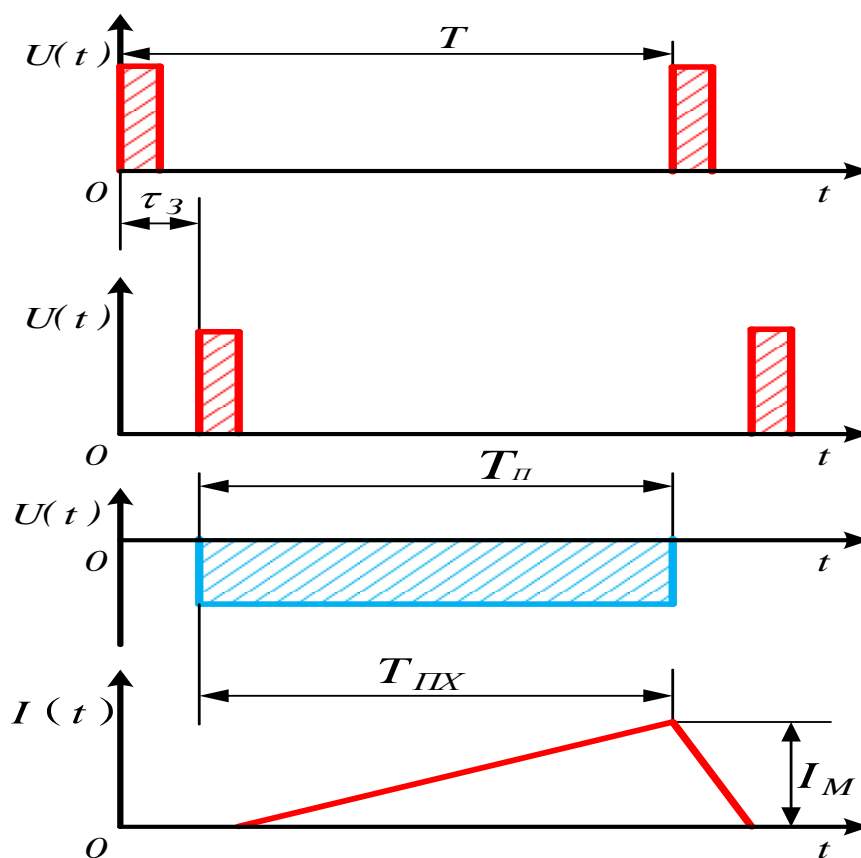


Рисунок 1.2. Епюри, що пояснюють роботу каналу розгортки від центру

Лінійно-змінний струм генерувати важче, ніж напругу, тому що повний опір ВК має малу величину і комплексний характер. Він утворюється індуктивністю  $L_K$ , паразитної ємністю  $C_K$ , опором втрат  $r_K$  котушки і опором шунта  $R_{III}$  див. рис. 1.3:

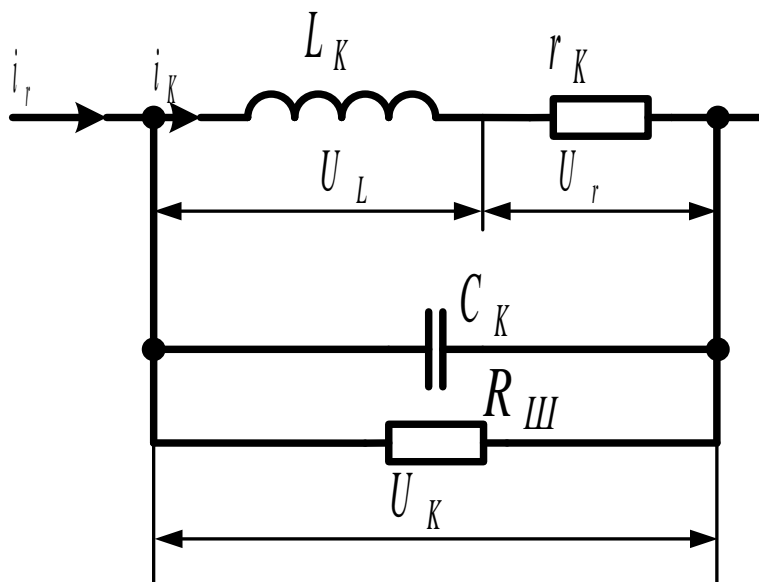


Рисунок 1.3. Еквівалентна схема ВК

де

$$U_r = i_K r_K \quad (1.1)$$

$$U_L = L_K \frac{d i_K}{d t} \quad (1.2)$$

$$U_K = U_L + U_r \quad (1.3)$$

Оскільки струм повинен змінюватися за лінійним законом, що складно технічно, то перевагу віддають створення лінійно-змінюваної напруги. У цьому випадку напруга на ВК (паралельно з'єднані активний опір шунта  $R_{III}$ , реактивні опори індуктивності і паразитної ємності котушки являють собою еквівалентну схему ВК) є сумою напруг на індуктивності та активному опорі котушки. Це призводить до того, що напруга на ВК буде трапецеїдальної форми, отже, тут коректніше використовувати назву генератор імпульсів трапецеїдальної форми.

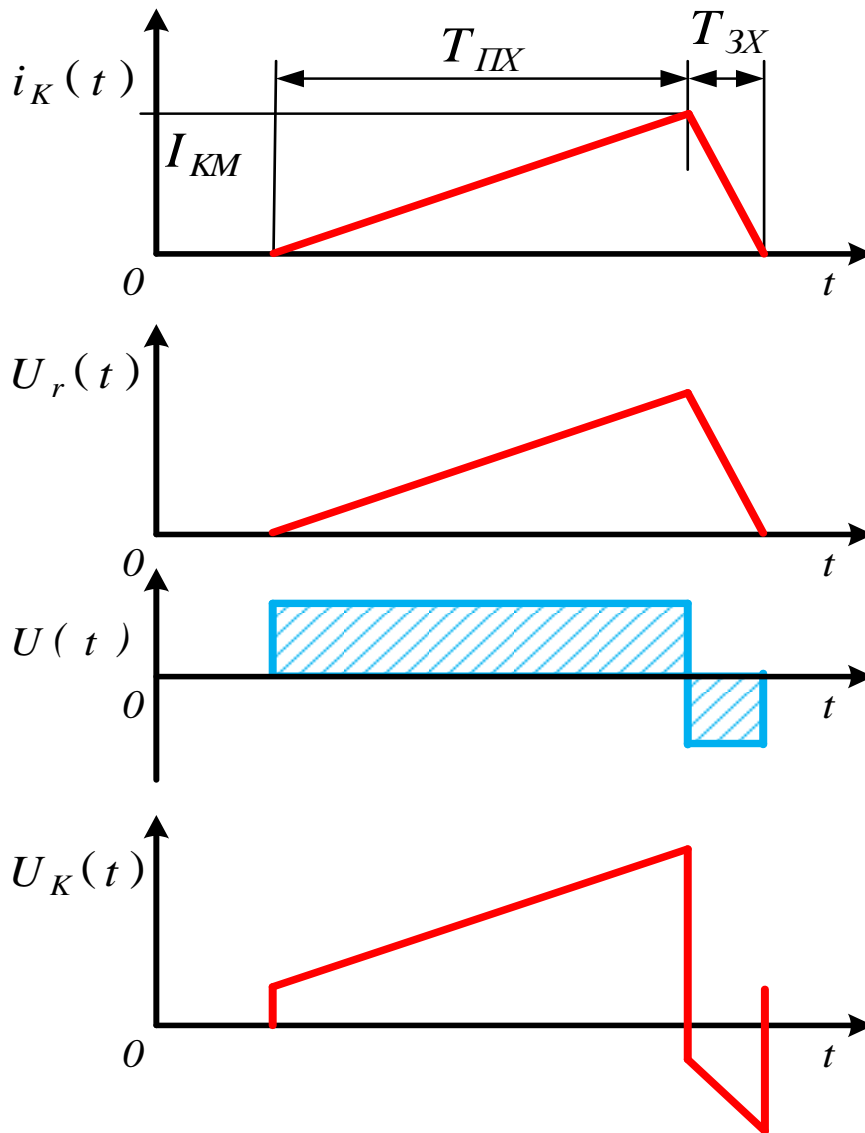


Рисунок 1.4. Епюри роботи розгортки

Для передачі обертання від антени до ВК здійснюються механічною передачею або синхронною системою стеження.

1.1.2. Індикатор кругового огляду з нерухомою відхиляючою системою.

Радіально-кругова розгортка з нерухомими ВК, необхідна зміна напруженості магнітного поля отримується використанням двох і більше пар нерухомих відхиляючих котушок. Зазвичай використовують дві пари взаємно перпендикулярні нерухомі котушки, розташованих в площині, перпендикулярній осі екрана.

Структурна схема формування відхиляючих струмів РКР з нерухомими ВК див. рис.1.5.

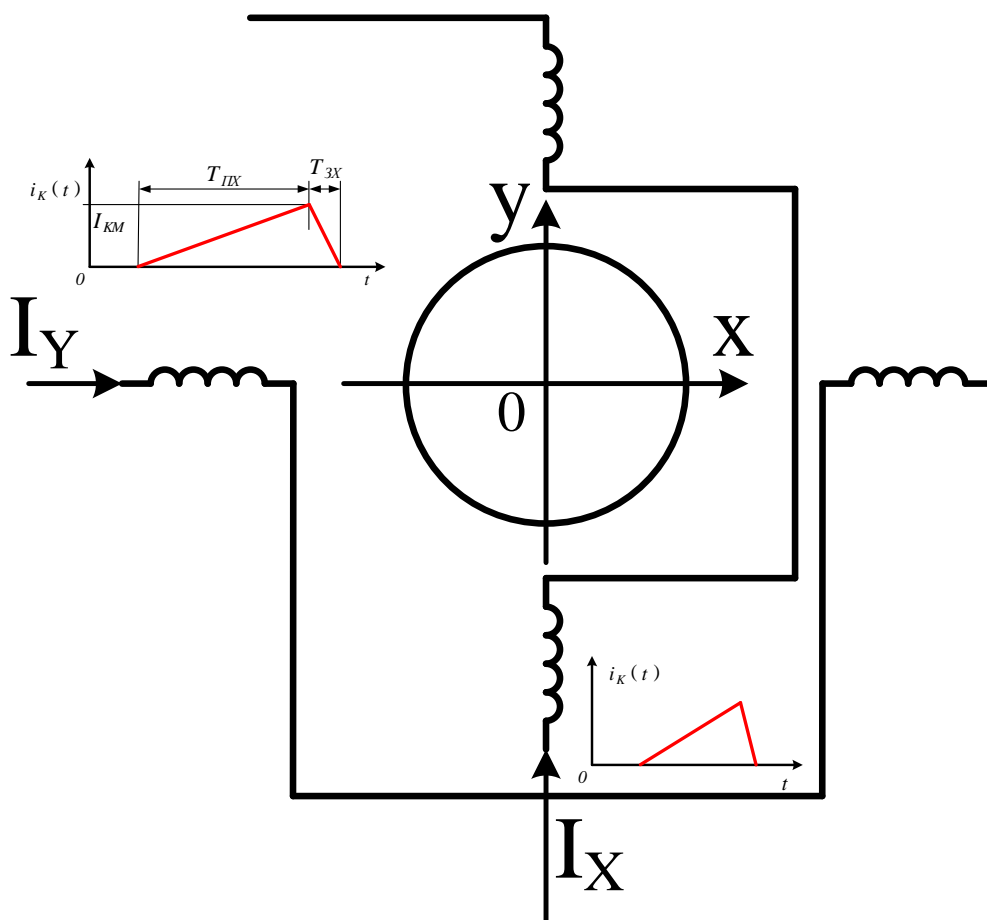


Рисунок 1.5. Структурна схема формування відхиляючих струмів

Для отримання лінійної радіальної розгортки повинна бути виконана умова:

$$y(t) = ctg \beta x(t) \quad (1.4)$$

де  $ctg \beta$  – постійний коефіцієнт, що характеризує нахил лінії розгортки на екрані.

Необхідність обертання лінії розгортки навколо точки  $O$  призводить до необхідності зміни цього коефіцієнта.

Умова незмінної довжини  $OA = R$  лінії розгортки записується у вигляді:

$$R_M^2 = X_M^2 + Y_M^2 \quad (1.5)$$

З урахуванням (1.4) з (1.5) отримаємо:

$$X_M = R \sin \beta ; Y_M = R \cos \beta \quad (1.6)$$

$$X_M = k I_{MX} w = R \sin \beta ; Y_M = k I_{MY} w = R \cos \beta \quad (1.7)$$

Тоді

$$I_{MX} = \frac{R \sin \beta}{k w} ; I_{MY} = \frac{R \cos \beta}{k w} \quad (1.8)$$

де  $w$  – число витків кожної пари котушок;

$k$  – чутливість пристрою відображення.

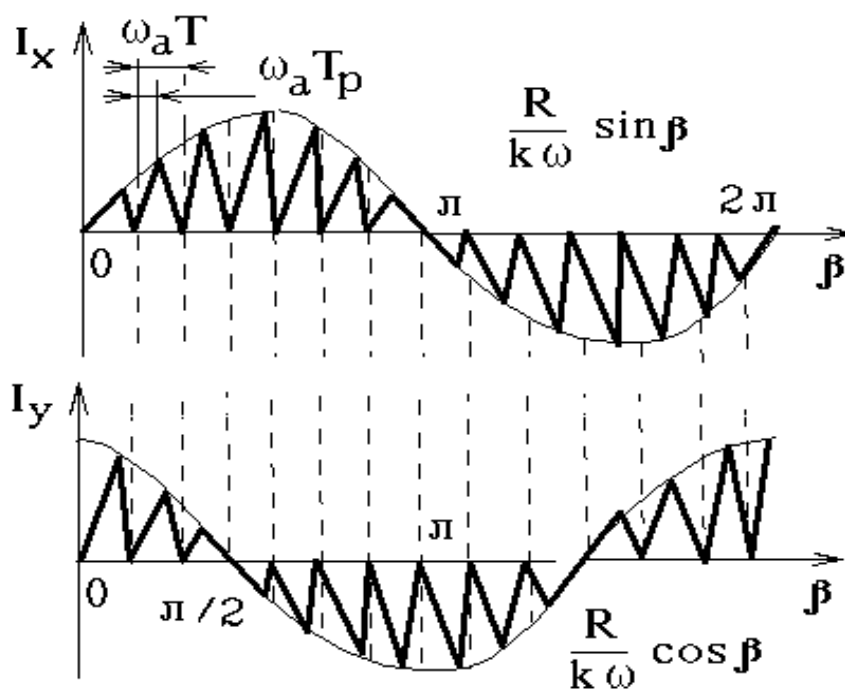


Рисунок 1.6. Епюри модульованих по амплітуді імпульсів радіально-кругової розгортки



Формування імпульсів струму модульованих по амплітуді (див. рис. 1.6) отримуються використанням схем, в яких попередньо формуються імпульси розгортки необхідної частоти і тривалості з наступною їх модуляцією по закону  $\sin \beta$  і  $\cos \beta$ . Імпульси лінійно змінюваного струму однакової амплітуди і тривалості надходять на модулюючий пристрій, якому передається обертання антени. В результаті отримуємо два види амплітудно-модульованих імпульсів струму, необхідних для роботи РКР при двох парах нерухомих ВК. Як модулюючий пристрій використовують:

- синус-косинусний потенціометр;
- змінний (синус-косинусний) ємнісний дільник напруги;
- синус-косинусний обертаючий трансформатор (СКОТ);
- сельсин.

Синус-косинусний потенціометр представляє найбільш простий по конструкції виріб. Наявність контактів, які труться один об другий, що зменшує надійність і термін експлуатації є основним недоліком.

Змінний ємнісний дільник напруги використовується при дуже швидких розгортках. Конденсатори змінної ємності вибирається таким чином, щоб форма пластин при обертанні їх роторів забезпечувала зміну коефіцієнту передачі за синусоїдальним законом.

Статорні обмотки СКОТ розташовані в просторі під кутом  $90^\circ$ . Обертання ротора СКВТ відбувається синхронно з антеною. Зі статорних обмоток отримують необхідні імпульси коли подають на роторну обмотку імпульси розгортки однакової амплітуди. Для фіксації положення початку лінії розгортки (фіксатори) СКВТ необхідні додаткові елементи.

## 1.2. Пристрої інертності зорового сприйняття

Пристрої подібного роду отримали назву LED POV DISPLAY від аббревіатури Persistence Of Vision – інертність зорового сприйняття, що проявляється в здатності людського ока запам'ятовувати зображення протягом 0.1 с.

Формування зображення відбувається шляхом механічного розгортання. Двигун обертає зі швидкістю близько 20-25 об / с (щоб поменше мерехтіло) лінійку з світлодіодів. У кожен даний момент часу горить певна група світлодіодів але очі в силу своєї інерційності сприймають зображення цілком. З тієї ж причини не видно і елементів, за допомогою яких кріпиться лінійка світлодіодів. Інше все просто. Треба тільки запалювати потрібні світлодіоди в потрібний час див. рис. 1.7.



Рисунок 1.7. LED POV DISPLAY

Найбільшою проблемною даних систем є методи та алгоритми перетворення растрового зображення в радіально-кругове. Власне швидкість та якість напряму залежать від швидкості роботи алгоритмів перетворення.

### 1.2.1. Нова концепція розрізнення

Роздільна здатність (або просторова роздільна здатність) визначається як “міра точності” або деталізації графічного відображення, виражена у вигляді крапок на дюйм, пікселів на рядок, ліній на міліметр чи будь-який інший метод. Однак ця концепція сприймається як чим більше зразків, взятих з графіка, тим краще візуалізуються його деталі. Поділ зображення на більше фрагментів та виправдання кожного фрагмента дасть більше деталей, оскільки більша кількість пікселів поділить завдання на визначення зображення.

У звичайних декартових зображеннях це можна зрозуміти легко. Тут жоден піксель не втручається в область, яка повинна бути представлена іншою, і все прямокутне зображення розміщене на всі пікселі, тобто немає “перекриття” в “робочій області” пікселів, і жодна частина зображення не залишається представленою. Щоб дати якісне відчуття для вирішення, ми можемо використовувати наступне наближення:

$$R = \frac{N_{pixel}}{S_{total}} = \frac{1}{S_{total} / N_{pixel}} = \frac{1}{A} \quad (1.1)$$

де  $N_{pixel}$  – кількість пікселів;

$S_{total}$  – загальна площа;

$A$  – площа одиниці пікселя (і може бути областю світлодіода, що використовується у прямокутному дисплеї, див. рис. 1.8).

Як видно, визначити площу одиниці для прямокутного зображення досить просто. Однак обговорення розрішення не таке просте з спінінг дисплеєм, оскільки:

– існує не так багато пікселів, як прямокутний екран, який охоплює все зображення, а пікселі насправді “поспішають”, щоб охопити решту зображення, рухаючись дуже швидко;

– немає постійної одиничної площі, яку можна визначити як вище, тому що області, що охоплюються світлодіодами, що знаходяться на різних радіальних місцях, відрізняються в результаті прямокутного руху.

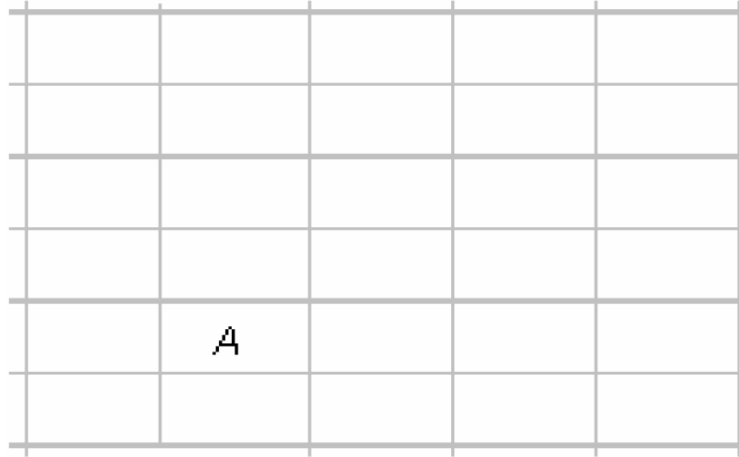


Рисунок 1.8. Область світлодіода, що використовується у прямокутному дисплеї

Однак ми можемо визначити іншу концепцію розрізнення, максимально наближену до вищезгаданої. Ця часова роздільна здатність – це не міра того, наскільки детально спостерігаються деталі, а міра того, наскільки “не затуманене” наше отримане зображення та як однаково відображаються радіально зміщені точки. Якщо говорити іншим способом, то ми приймемо хорошу роздільну здатність, якщо зможемо досягти трохи розмитого зору завдяки збереженню даних із попереднього положення стовпця світлодіодів та трохи різних областей, представлених кожним світлодіодом. Перший, принаймні, чітко погоджується з нашою дискусією вище про “перекриття робочих зон”, а другий із нашим бажанням демонструвати всюди однакову якість. Ми хочемо мінімізувати різницю областей, представлених (пролітаючими) близькоцентровими світлодіодами та світлодіодними індикаторами (тобто зробити співвідношення областей, представлених якомога ближче до одиниці).

Вище розроблене вимірювання роздільної здатності  $\frac{1}{A}$  для цього все ще діє, але, як згадувалося раніше, воно тепер означає, наскільки “не розмитим” є наш

отриманий образ і наскільки рівні ці  $A$ . Для кожного з цих класифікаторів ми визначили критерій, як показано нижче:

$$\sum = \frac{L_{\tan P}}{L_{\tan O}} \quad (1.2)$$

де  $\sum$  – сума розмиття;

$L_{\tan P}$  – тангенціально розтягнута довжина;

$L_{\tan O}$  – оригінальна тангенціальна довжина.

$$A_H = \frac{A_{1pixel}}{A_{other pixel}} \quad (1.3)$$

де  $A_H$  – область нерівності;

$A_{1pixel}$  – проміжна область в одному пікселі;

$A_{other pixel}$  – проміжна область на іншому пікселі.

Як легко видно, що розмиття може бути зменшене зменшенням радіально простроченої довжини, а нерівність площі може бути зменшена за рахунок збільшення площі оригіналу.

### 1.2.2. Лінійне наближення для світлодіодів у радіальному напрямку

Хоча це наближення є нереальним, воно допомагає зрозуміти природу обертового дисплея та поняття промальованої площі та довжини із спрощенням математики. Для простоти, вважається, що світлодіоди розміщені без проміжків. Кінцевий результат можна змінити, замінивши висоту одного світлодіода на висоту плюс проміжок між ними.

Наближення рядків див. рис. 1.9.

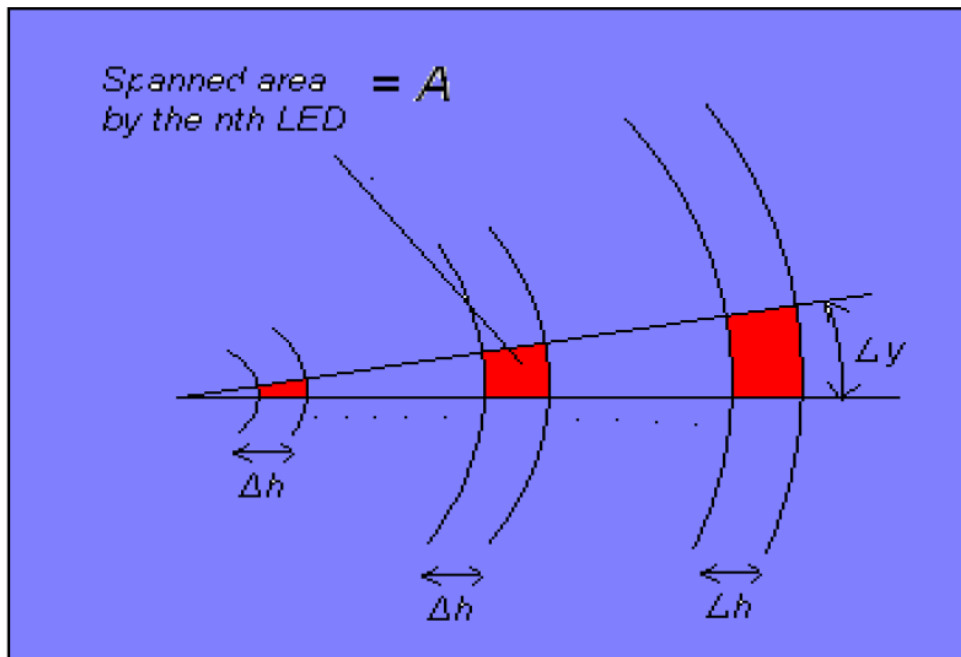


Рисунок 1.9. Наближення лінії

$$A_H = r_H \Delta \theta \Delta h = n (\Delta h)^2 \Delta \theta \quad (1.4)$$

де  $r_H = n \Delta h$  ;

$\Delta h$  – висота окремого світлодіода, а площа, що охоплюється n-м світлодіодом;

$\Delta \theta$  – кут, що охоплюється протягом часу, коли дані на світлодіодах не встигли оновитись.

З іншої сторони, тангенціально проміжна довжина задана значенням

$$\Delta y_H = r_H \Delta \theta = n \Delta h \Delta \theta \quad (1.5)$$

Оскільки наближення без ширини для світлодіодів залишається початковою площею світлодіодів нульовою та початковою тангенціальною довжиною нуля, рівняння (1.3) та (1.4) є нескінченними для найгіршого випадку порівняння самого

зовнішнього світлодіода (скажімо, у нас є  $m$  світлодіоди), де

$$A_m = m (\Delta h)^2 \Delta \theta \text{ світлодіода LED } A_0 = 0 \quad \Delta y_m = r_m \Delta \theta = m \Delta h \Delta \theta .$$

$$\Delta y_{m \Gamma} = [m \Delta h \Delta \theta + 0] / 0 ;$$

$$A_{m \Gamma} = (m (\Delta h)^2 \Delta \theta + 0) / (0 + 0) ;$$

Де  $\Delta y_{m \Gamma}$  – сума розмиття в гіршому випадку;

$A_{m \Gamma}$  – площа нерівності в гіршому випадку.

Однак, як уже згадувалося, такий підхід був нереальним, і тому нам потрібен був інший підхід, як показано нижче.

### 1.2.3. Наближення світлодіодів у радіальному напрямку

На відміну від широкого наближення, світлодіоди вважаються елементами з шириною  $\Delta b$  та висотою  $\Delta h$  див. рис. 1.10.

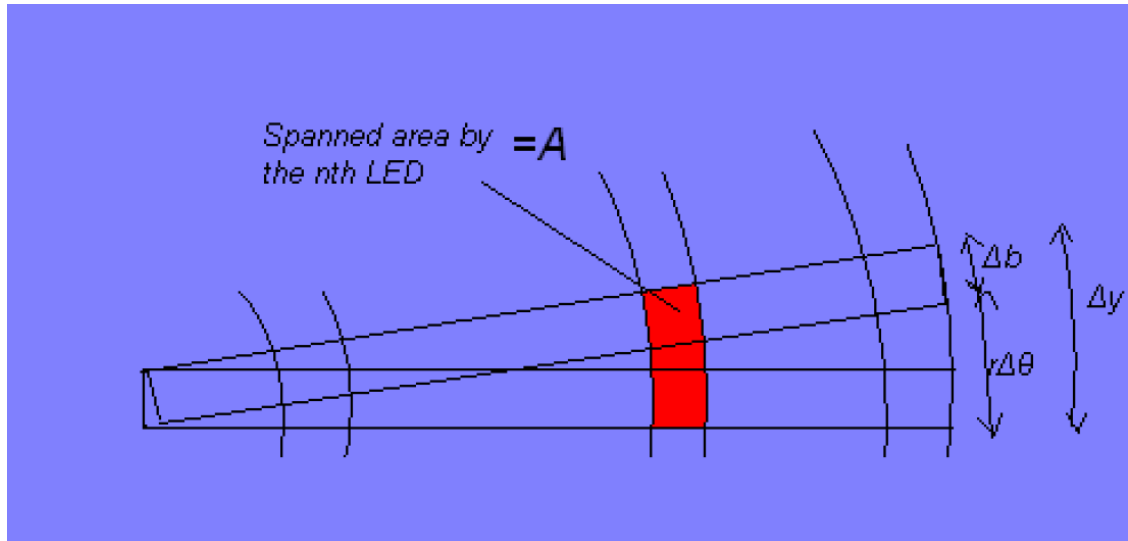


Рисунок 1.10. Світлодіоди = елементами з шириною  $\Delta b$  та висотою  $\Delta h$

Краї елементів, які використовуються для моделювання світлодіодів, здається, ідеально перетинаються між нарисованими колами, що справедливо лише для наближень невеликих кутів, що є однією з причин нашого вибору високих оборотів у секунду див. рис. 1.10. Для цього нового випадку:

$$A_H = r_H \Delta \theta \Delta h + \Delta b = n (\Delta h)^2 \Delta \theta + \Delta b \Delta h \quad (1.6)$$

$$\Delta y_H = r_H \Delta \theta + \Delta b = n \Delta h \Delta \theta + \Delta b \quad (1.7)$$

Звідси отримаємо

$$\Delta \theta = \frac{2\pi}{S} \quad (1.8)$$

де  $S$  – кількість засвічувань, взятих за один виток. Цей  $S$  відповідає кількості стовпців на полярному зображенні.

$$\Delta y_{m\Gamma} = [m \Delta h \Delta \theta + \Delta b] / \Delta b = 1 + 2\pi m \Delta h / S \Delta b, \quad (1.11)$$

$$A_{m\Gamma} = (m (\Delta h)^2 \Delta \theta + \Delta b \Delta h) / (\Delta b \Delta h) = 1 + 2\pi m \Delta h / S \Delta b, \quad (1.12)$$

де  $\Delta y_{m\Gamma}$  – сума розмиття в гіршому випадку;

$A_{m\Gamma}$  – площа нерівності в гіршому випадку.

Дійсно, що найгірші значення кількості розмитості (що відбувається у самого зовнішнього світлодіода) та нерівності площі (що відбувається, коли ми порівнюємо самий зовнішній світлодіод та найперший світлодіод, припускаючи, що останній лежить при  $r = 0$ ) рівні. Крім цього, ці два рівняння дають нам підказку про те, як розмістити наші прямокутні світлодіоди більш ефективно. Оскільки ми хочемо вивести ці значення якомога ближче до єдності,  $\Delta h$  має бути малим, а  $\Delta b$  – великим, що диктує, що світлодіоди повинні бути розміщені таким чином, щоб їх короткі сторони лежали в радіальному напрямку.



#### 1.2.4. Частота оновлення та робочі обороти в хвилину

Оскільки ми хочемо отримати зображення, що не мерехтить, на своєму обертovому дисплеї, ми мусимо повертати його швидше, ніж час реакції очей людини. Зазвичай людське око може розрізнити зміни, що відбуваються менше 10 Гц, але після цієї частоти він сприймає неперервне зображення ще з мерехтінням до певної частоти. Це відрізняється від частоти кадрів, що використовується для опису, скільки разів може змінюватися зображення на екрані. У фільмах частота кадрів становить 24 Гц, але кожен кадр оновлюється двічі, перш ніж перейти до наступного кадру. Залишається 48 переходів в секунду, але оскільки він перевищує час реакції людини приблизно в 5 разів, око не може побачити переходи.

Імпульсна модуляція дозволить нам отримати яскравість, таким чином, управління сірим кольором нашого дисплея.

#### 1.3. Кутове та радіальне сканування в магніто-резонансній томографії

Виробничі поверхні великої площі, що містять мікро- та наномасштабні характеристики та біомедичні об'єкти з великим видом, мотивують розвиток систем візуалізації великої площі, високої роздільної здатності та високошвидкісного зображення. Порівняно з скануванням постійною лінійною швидкістю та растровим скануванням, сканування з постійною кутовою швидкістю можуть значно послабити перехідну поведінку, збільшуючи при цьому швидкість зображення. У цій роботі ми теоретично аналізуємо та оцінюємо швидкість, прискорення та поштовхи концентричної кругової вибірки траєкторії (CCTS). Потім ми представляємо систему відеоспостереження CCTS, яка демонструє менші вібрації та менші помилки відображення, ніж растрове сканування для створення декартового композитного зображення, зберігаючи порівняно високу швидкість сканування для великої області сканування див. рис. 1.8.

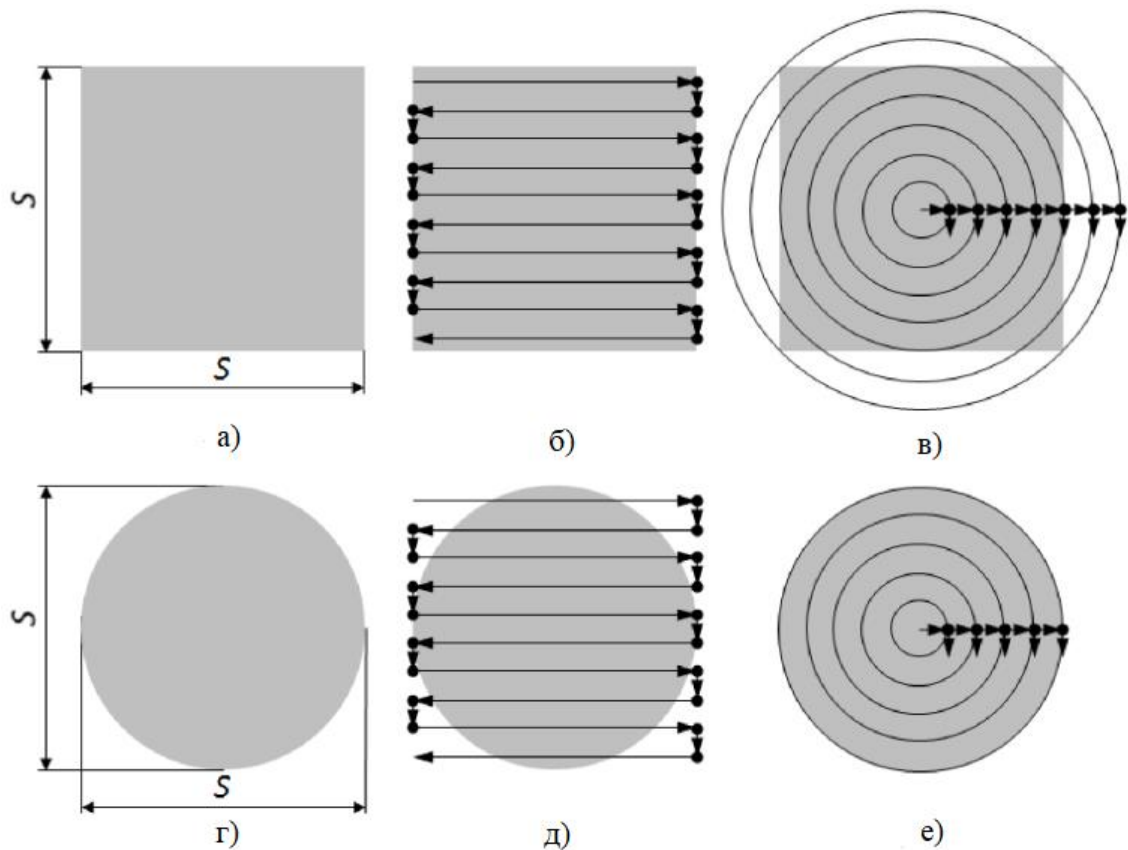


Рисунок 1.11. Поворот та напрямки сканування МРТ

Траекторія растрового сканування складається з серії ліній сканування та точок повороту ліній, які викликають ривки та обмежують плавність траекторії. Традиційним рішенням у промисловості є завищення області сканування та уникнення зображення точок ривка, оскільки всі точки ривка розташовані навколо кінцевих точок сканування. Це рішення легко здійснити, але воно збільшує час сканування і принципово не вирішує першопричину вібрації поблизу природної резонансної частоти. Щоб подолати вищезазначене обмеження, ми вважаємо кругову траекторію, яка підтримує наступність у похідних високого порядку, плавно ковзаючи по тангенціальному напрямку.

#### 1.4. Висновки до розділу 1

На підставі розгляду та теоретичного аналізу трьох розглянутих систем, для реалізації пристроїв перетворення рядкової розгортки в радіально-кругову необхідно розробити метод та алгоритм, який дозволить максимально покращити якість та збільшити швидкість відображення зображення.

## РОЗДІЛ 2

### ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ

Всім відомо, що більшу частину відомостей і уявлень про навколишній світ людина отримує за допомогою зору. Тому дуже важливо існування засобів представлення інформації “для зору” і автоматичних засобів обробки такої інформації.

Загальний напрямок, в рамках якого вирішуються такі завдання, отримав назву комп’ютерної графіки. Іншими словами, комп’ютерною графікою називають область діяльності, в якій комп’ютери і програмне забезпечення використовуються як інструмент створення і обробки зображень.

Оскільки комп’ютер – пристрій, призначений для обробки дискретної цифрової інформації, то потрібен метод формування зображення на основі саме такої інформації. Метод, яким найчастіше представляється графічна інформація, отримав назву реєстрового. Растрова графіка – метод представлення та зберігання зображення у вигляді позначення кольорів точок (пікселів), які перебувають у вузлах прямокутної рівномірної координатної сітки - растра.

Якщо сітка досить щільна, то точки виходять дрібними, тому людське око не сприймає зображення як дискретне.

Основними параметрами зображення в растровій формі є розрізнення лінійне, тобто можлива кількість точок на одиницю площі, і розрізнення колірне – кількість градацій кольору. Таким чином, розрізняють розрізнення лінійне – кількість стовпців по горизонталі і ліній по вертикалі, і колірне/відтінкове – кількість відтінків або кольорів у кожній точці. Лінійне розрізнення описують можливою кількістю точок, а колірне – у вигляді кількості бітів, що відводяться на опис кожної окремої точки.

Чим більше кількість точок на одиницю площі і кількість кольорів кожної точки, тим вища можлива якість зображення.

## 2.1. Організація обробки графічних даних представлення і кодування кольору

У найпростішому випадку, коли використовується лише два кольори, один біт, стан якого і задає колір. Якщо ж кольорів стає більше, то такий підхід вже не дозволяє вирішити поставлену задачу.

Існує кілька методів кодування кольору, що застосовуються при обробці графіки.

Для опису градації одного кольору застосовується звичайне кодування, в якому номер позначає градацію. Чим більше значення, тим сильніше виявляється колір. Для моніторів (в яких точка самостійно випромінює світло) зазвичай 0 відповідає відсутності кольору, а максимальне значення (наприклад, 255) – максимальної світності точки. Таким чином, з'являється можливість задавати відтінок на монохромному моніторі.

У разі, коли використовується принтер і чорнильна точка або є, або немає, відтінок задається кількістю колірних точок деякої матриці (наприклад, 4×4 точки).

У більш складних випадках, коли мова йде про кодування складного кольору з великою кількістю відтінків, розглядають розкладання кольору на кілька окремих компонентів, які, змішуючись в одній точці, утворюючи заданий колір.

Для кожного конкретного зображення все, що передається одним з компонентів кольору, також називається каналом.

Компоненти кольору і метод утворення з них видимого відтінку і являють собою кольорову модель.

Кольорові моделі розроблялися в психології сприйняття задовго до появи обчислювальної техніки. Існує велика кількість моделей кольору, які створювалися і вводилися різними авторами для опису і дослідження зору людини. З появою проєкційної та друкувальної апаратури, з урахуванням технічних вимог були розроблені нові моделі, що враховують в першу чергу фізичні та технічні аспекти формування конкретного кольору.

Найбільш популярні зараз такі колірні моделі.

## Модель сприймання HLS.

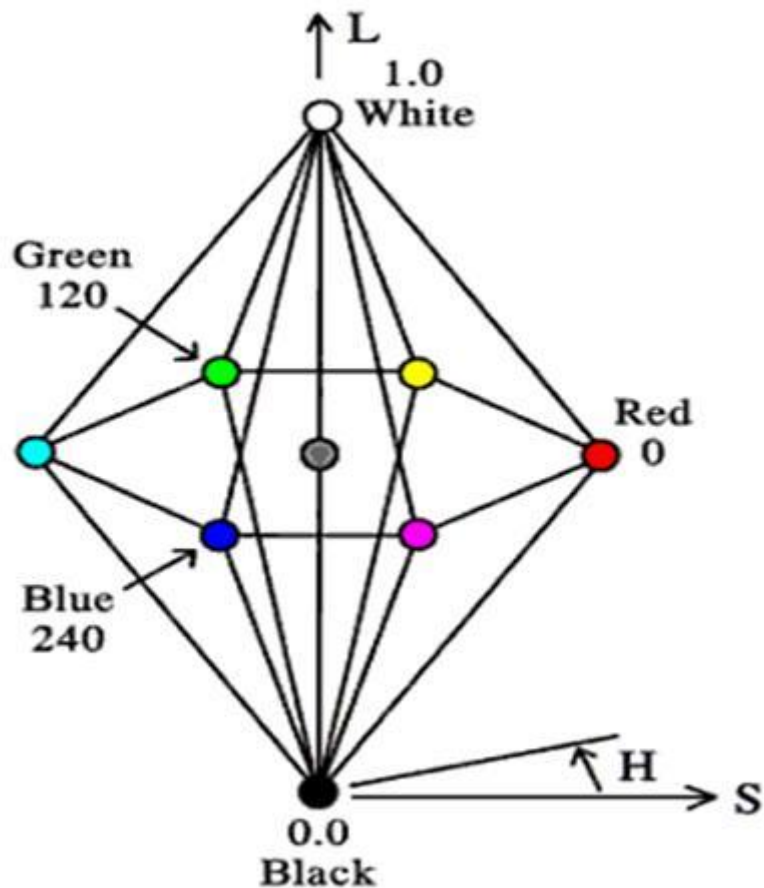


Рисунок 2.1. Модель сприймання кольору HLS

Модель сприйняття HLS (див. рис. 2.1) має на увазі утворення кольору з трьох основних компонентів:

- Hue – відтінку кольору;
- Lightness (Intensity) – яскравості (інтенсивності);
- Saturation – насиченість.

При використанні цієї моделі вважається, що всі відтінки задані на єдиному колірному колі. Тому перший параметр задає градус повороту від еталонного відтінку (0 – білий). Інші параметри задають у відсотках положення між максимальними та мінімальними доступними значеннями.

Модель також відома під назвами HSL, HSI.

Ця модель найбільш наближена до людського сприйняття і опису кольору. Вона застосовується в основному для опису кольору при аналізі сприйняття кольору людиною.

У адитивній колірній моделі RGB (див. рис. 2.2) колір утворюється змішуванням трьох компонентів:

- Red – червоного;
- Green – зеленого;
- Blue – блакитного.

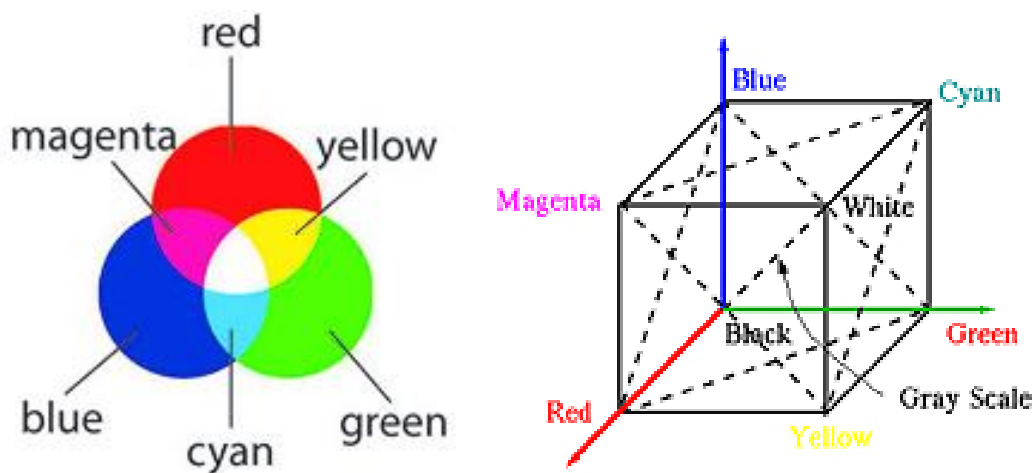


Рисунок 2.2. Адитивна колірна модель RGB

Ця модель описує колір, який утворюється з “суми” світла, випромінюваного декількома джерелами. Ця модель є адитивною (від лат. Additio – додаю).

Найпопулярнішим прикладом використання цієї моделі є монітори (в яких колір кожного пікселя растру складається з трьох компонентів), проектори та сканери (які найчастіше реєструють відбите світло).

Саме така колірна модель використовується і в описі можливостей різних графічних пристроїв. Кольорову палітру в цьому випадку описують кількістю бітів, що відводяться на збереження кольору. Найчастіше використовуються режими HighColor (16 бітів, в співвідношенні 5: 6: 5 або 5: 5: 5) і TrueColor (24 біта, в співвідношенні 8: 8: 8).

Професійні програми обробки графічної інформації дозволяють працювати з розширенням, коли на одну компоненту відводиться не 8, а 16 бітів.

Кожен компонент задається силою світності, 0 відповідає відсутності світла. Таким чином, колір 0-0-0 – це чорний, колір з рівних часток кожного компонента – один з відтінків сірого, а колір з максимальними значеннями компонентів – білий.

Субтрактивна модель кольору СМУК див. рис.2.3.

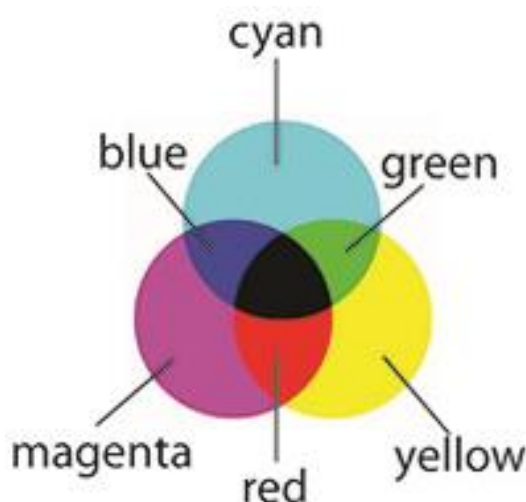


Рисунок 2.3. Субтрактивна колірна модель СМУК

Якщо необхідно сформувати колір точки з темних компонентів, які самостійно не світяться, то адитивна модель застосовуватися не може, оскільки точка формується з відбитого випромінювання. Тому для формування кольору при друку була розроблена субтрактивна, тобто модель віднімання кольору (зручніше розглядати відображену, а не поглинену компоненту). У ній колір формується з трьох основних компонентів:

- Cyan – блакитного;
- Magenta – яскраво-червоного;
- Yellow – жовтого.

Ці кольори виходять відніманням від чистого білого світла кольорів адитивної моделі.



Формально при змішуванні в рівних максимальних частках ці кольори повинні давати чорний колір.

Оскільки на практиці точного чорного кольору при змішуванні не виходить, то в модель додається компенсуючий четвертий компонент black – чорний. Чому саме остання буква взята в скорочення СМҮК, точно не відомо.

Ця модель формування кольору використовується при друку як у друкарнях, так і в сучасних друкуючих пристроях. В деякі моделі для досягнення точності відтінків додають ще чотири кольори – освітлених.

Необхідно зазначити, що перетворення з трикомпонентної моделі в чотирикомпонентну не може бути математично точним і завжди проходить з деякими спотвореннями. З цієї причини обладнання при професійному використанні вимагає калібрування, а друк – врахування великої кількості параметрів.

## 2.2. Растрова графіка

Растрова графіка є надзвичайно потужним методом представлення і зберігання зображень, особливо фотографічних, але в ряді випадків пряме використання такого підходу незручно. Це випадки, коли зображення створюється з типових елементів – графічних примітивів (точок, прямих і кривих ліній і т. п.). Подання таких елементів у вигляді точок позбавляє нас можливості змінювати параметри примітиву без перемальовування зображення, обмежує можливості геометричних перетворень, вимагає багато місця при зберіганні.

Для подолання цих обмежень застосовується підхід, що припускає зберігання і обробку зображення не у вигляді растра, а у вигляді деяких описів окремих елементів. Елементами зазвичай є математичні об'єкти із заданими конкретними параметрами. Параметри дозволяють виконати візуалізацію елементів на пристрої виведення (растеризування), виходячи з його характеристик і заданого “вікна” перегляду.

Оскільки просторове положення примітивів і метод відображення задаються за допомогою координат, цей метод зберігання і обробки зображень отримав назву векторної графіки.

### 2.3. Векторна графіка

Одним з найбільш істотних переваг векторної форми подання зображення є її компактність і мала залежність обсягу від розмірів зображення.

До мінусів цієї форми подання відноситься відсутність загальних стандартів (практично у кожного редактора є свої власні формати і особливості) і високі вимоги до системних ресурсів, особливо обчислювальним.

У програмах підготовки векторних зображень робота будується навколо об'єктів (примітивів), що володіють деякими властивостями.

Найбільш поширеними примітивами є: відрізки, прямокутники і їх похідні (зі згладженими кутами), еліпси і їх частини, криві Безьє (математичні криві третього порядку, що задаються чотирма точками), а також складені з них складні контури. Одним з типових об'єктів є текст, написаний, як правило, контурним шрифтом (векторних по суті).

Кожен об'єкт може мати цілу низку властивостей. До них, зокрема, відносять: товщину ліній і метод їх стикування, колір, заливку – метод заповнення замкнутого контуру, що накладаються на об'єкт ефекти. Параметрами є і положення об'єкту.

З об'єктами в векторній графіці можна виконувати велику кількість різноманітних операцій. До таких операцій відносяться: повороти, масштабування, геометричні спотворення всіляких видів, тиражування готових об'єктів. Специфіка форми подання така, що операції виконуються без спотворень.

Сучасні редактори векторної графіки можуть імпортувати і використовувати як готові об'єкти, так і зображення растрової графіки.

Редактори векторної графіки дозволяють групувати об'єкти і створювати таким чином складні об'єкти для виконання операцій над ними як над єдиним цілим.

Об'єкти можуть бути розподілені на площині як “на поверхні”, так і “по вертикалі” (в різних шарах). Об'єкти рисуються по порядку і упорядковуються один щодо одного. Як і програми растрової графіки, програми векторної графіки підтримують роботу з шарами.

Векторна графіка застосовується в програмах автоматизованого проектування, для підготовки графічних друкованих матеріалів (наприклад, плакатів), підготовки анімаційних роликів до публікації в мережі Інтернет, презентацій.

При створенні алгоритмів обробки зображень необхідно враховувати, що кількість дій може виявитися більшим через кількість точок в растрі. Це означає, що при обробці зображень небажано виконувати ресурсномісткі обчислення, інакше робота програми стане дуже довгою.

#### 2.4. Перетворення координат і фігур

Історично перші завдання, які вирішувалися в комп'ютерній (машинній) графіці – це завдання створення зображення (графіка, креслення і т.д.). При підготовці таких рисунків дуже часто виникає завдання перетворення координат для відображення, перетворення об'єктів – масштабування, повороту і т.д.

Такі завдання вирішуються методами аналітичної геометрії за допомогою перетворення координат.

Найпростіший випадок – розрахунок координат точки на екрані по її математичних координатах.

Припустимо, що у нас є область для відображення, задана координатами кутів  $\{X_0, Y_0\}, \{X_1, Y_1\}$ . Нам потрібно відобразити в ній об'єкт (наприклад, графік функції), координати якого укладаються в межі  $\{x_0, y_0\}, \{x_1, y_1\}$ .

Попередньо розрахуємо коефіцієнти:

$$k_x = \frac{\{X_1 - X_0\}}{\{x_1 - x_0\}} \text{ та } k_y = \frac{\{Y_1 - Y_0\}}{\{y_1 - y_0\}} \quad (2.1)$$

$$\begin{cases} X = [(x_1 - x_0) k_x + X_0] \\ Y = [(y_1 - y_0) k_y + Y_0] \end{cases} \quad (2.2)$$

Квадратними дужками позначено операцію отримання цілої частини числа. Якщо важливо дотримуватися масштабу, то коефіцієнт вибирається один – найменший.

Фігуру, задану координатами точок (всіх або тільки ключових), можна легко перетворювати.

Зміщення фігури – це просто додавання числа до ключових координатами.

Збільшити або зменшити фігуру (і не обов'язково залишати її на місці) можна просто, помноживши координати її точок на коефіцієнт. Якщо фігура повинна зберегти логічне становище на «листі», то координати попередньо доведеться перерахувати в систему координат з центром в середині фігури, який визначається як середнє арифметичне координат.

Важлива властивість таких перетворень – збереження форми фігури. Тобто лінія перетворюється в лінію, а тому можна перерахувати тільки координати початку і кінця відрізка, а проміжні точки розраховувати заново не треба.

Побудова фігур. Завдання кольору точок растра по математичному опису фігури. Наведемо приклад одного з основних алгоритмів, який використовуються в машинній графіці в даному випадку – алгоритму побудови відрізка. На його прикладі можна побачити деякі основні прийоми розв'язання таких задач.

Побудова відрізка для нас означає заповнення тих точок растра, які знаходяться на відрізку, що з'єднує точки з заданими координатами. Очевидно, що просто обчислити ці координати точно не можна – оскільки не може бути «дрібних» точок.

Найпоширеніший алгоритм рисування точок отримав назву алгоритму Бренхема.

Основна ідея цього алгоритму – не використовувати обчислення з плаваючою точкою, а просто «пройти» за однією з осей і визначити для кожної координати в межах лінії, чи потрібно для неї «змістити» значення другої координати.

Наприклад, розглянемо алгоритм для рисування лінії див. рис. 2.4, прийнявши координати кінців відрізка  $[x_0, y_0], [x_1, y_1]$ . Щоб спростити розуміння алгоритму, спочатку запишемо його з використанням дробових чисел, вважаючи, що вихідне зображення – об'єкт Image, всі пікселі в ньому – внутрішня матриця Pixel.

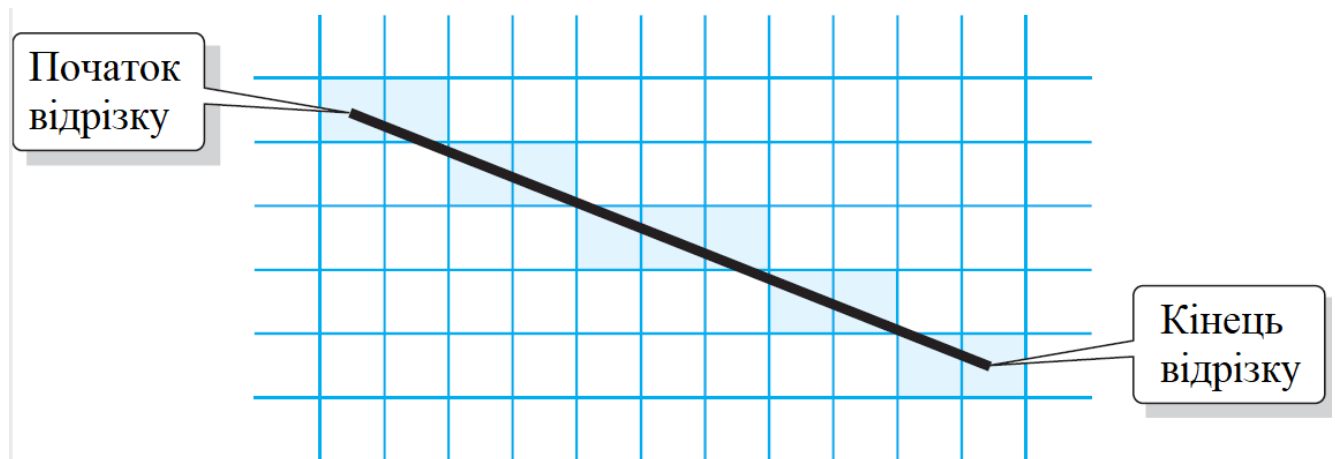


Рисунок 2.4. Приклад побудови відрізка

$\Delta x = x_1 - x_0$   $\Delta y = y_1 - y_0$   $error = 0$

$\Delta Error = \Delta y / \Delta x$   $y = y_0$

for  $x = x_0$  to  $x_1$  Image.Pixel  $[x, y] = 1$

$error = error + \Delta Error$

if  $error > 0.5$

$y = y + 1$

$error = error - 1$

Таким чином, ми вирахували коефіцієнт нахилу, і збільшували у тоді, коли пройшли більше половини пікселя тобто накопичили помилку в змінній error більше, ніж 0,5). Щоб перейти до цілих чисел, просто помножимо дробові числа на  $\Delta x$  і на 2 (там, де використовувався коефіцієнт 0,5):

```

Deltax = x1 - x0  Deltay = y1 - y0
error = 0  deltaErr = Deltay * y = y0
for x = x0 to x1 Image.Pixel[x,y] = 1
    error = error + deltaErr
    if 2*error > Deltax
        y = y + 1
        error = error - Deltax

```

Щоб отримати повний алгоритм, потрібно врахувати і інші випадки нахилу відрізка. Зазвичай їх враховують, міняючи місцями координати і напрямки зсуву точок. Аналогічно можна реалізувати алгоритми побудови кіл і еліпсів з осями, паралельними осям координат.

Алгоритм можна використовувати і для більшої різноманітності ліній, наприклад, задавши шаблон у вигляді бітової карти (малювати точку або не малювати), отримувати пунктирні лінії, використовувати не просто точку, а фігуру складної форми (кисть) і т.д.

Обробка растрового зображення. Розглянуті нами алгоритми призначені для формування растрового зображення за його векторним поданням, тобто опису окремих елементів. Як ви знаєте, дуже часто такого опису у нас немає, а є зображення, отримане у вигляді готової ілюстрації (растру – матриці точок).

Растрове зображення – основний засіб представлення й обробки фотографічних зображень, стилізованих художніх малюнків, всіляких діаграм, тексту. Проте необхідно пам'ятати, що сенс зображенню надає людина (наприклад, виділяє об'єкти) і при обробці растрових зображень ми не можемо автоматично його вра-

хувати. Тому для маніпулювання окремими об'єктами і частинами зображення програми роботи з растровою графікою (рис. 1.7) передбачає засоби створення складених зображень за допомогою механізму шарів (layers) – площин, які накладаються одна на одну.

При обробці таких зображень часто застосовують фільтри – перетворення кольору точок растра, які застосовуються до якоїсь зони растру, перетворюючи (фільтруючи) наявні дані. Варто зауважити, що растр сам по собі нікуди не рухається, і все перетворення зміщення, повороту і т.д. – це фактично теж перефарбування точок.

Загальний принцип роботи фільтра такий: до кожної точки растра, що знаходиться в зоні дії фільтра, застосовується деяку дію для розрахунку її нового кольору. Дуже часто ця дія заснована на ваговій матриці, яка називається ядром перетворення, тобто матриці з непарною довжиною і шириною, в якій вказана вага (тобто частка участі) пікселя в підсумковому значенні. Матриця накладається на зображення так, щоб її центр (саме тому довжина і ширина обрані непарними) збігся із змінним пікселем. Параметри пікселів змінної зони, що потрапили під матрицю, підсумовуються з вагою, зазначеним в матриці, результат нормується (перераховується в частки від загальної ваги) і записується в центральний піксель. Після цього матриця зсувається на 1 піксель, і все повторюється.

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 3 & 5 & 6 & 5 & 3 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

Таке перетворення буде “змішувати кольори” в залежності від відстані – чим далі, тим менше впливає.

Для прямокутної області зображення алгоритм застосування фільтра нескладно записати на псевдокодi, вважаючи, що вихідне зображення – об'єкт Image, всі

пікселі в ньому – внутрішня матриця Pixel, і у кожного пікселя є властивості red, green та blue – колірні компоненти. Аналогічно буде влаштований об'єкт-результат: result Image. Ядро перетворення ми будемо зберігати в аналогічній структурі Kernel, в якій вказуємо ширину і висоту ядра, і вагову матрицю.

```

For x = 1 to Image.Width
  For y = 1 to Image.Height
    rSigma = 0
    gSigma = 0
    bSigma = 0
    kSum = 0
    for i = 1 to Kernel.Width
      for j = 1 to Kernel.Height
        curPixX = x + (i — Kernel.Width/2)
        curPixY = y + (j — Kernel.Height/2)
        if ((curPixX < 0) or
            (curPixY < 0) or
            (curPixX > Image.Width) or
            (curPixY > Image.Heighth)
            continue
        rSum = rSum + Image.Pixel[curPixX,
            curPixY].red*kernel.Weght[i,j]
        gSum = gSum + Image.Pixel[curPixX,
            curPixY].green*kernel.Weght[i,j]
        bSum = bSum + Image.Pixel[curPixX,
            curPixY].blue*kernel.Weght[i,j]
        kSum = kSum + kernel.Weght[i,j]
    resultImage.Pixel[x,y].red = rSum/kSum
    resultImage.Pixel[x,y].green = gSum/kSum
    resultImage.Pixel[x,y].blue = bSum/bSum

```



З прикладу добре видно, що чим більше зображення і складніше фільтр, тим більше доведеться виконати обчислень.

Цей алгоритм при написанні програми можна (і потрібно) оптимізувати. Наприклад, вага матриці в нашому випадку зовсім не обов'язково рахувати кожен раз, оскільки ця величина статична.

В результаті застосування такого фільтра зображення буде розмитим, наприклад, так роблять для маскування “склеювання” фотографій, розмиваючи краї об'єктів.

Ще один приклад такого перетворення – освітлення зображення. Для цього достатньо представити точки кольору в моделі HLS і збільшити значення компонента Light. Після цього колір перераховується знову в RGB і відображається.

Аналогічно діють фільтри звичайного розмиття, підвищення різкості, виявлення країв і т.д.

Використання шарів, фільтрів, застосування перетворень по шаблонах – основний сучасний метод обробки самих різних зображень.

## 2.5. Зберігання зображень

Одна з істотних завдань, що виникають при обробці зображень – це їх зберігання. Якщо використовувати прямий метод збереження, то зображення стануть займати надмірно багато місця на носіях, і, що в сучасних умовах істотно, зажадають набагато більше часу при пересиланні. Для скорочення обсягу зображень застосовують уже згадувані нами методи стиснення інформації, тобто її кодують, щоб зменшує розмір.

Всі методи стиснення ділять на дві великі групи: алгоритми стиснення без втрат інформації та з втратами.

Перша група методів застосовується тоді, коли вихідне зображення потрібно відновити без будь-яких спотворень: наприклад, при підготовці якісного друку, в науковій графіці і т.д.

Найпростіший приклад алгоритму стиснення без втрат – метод RLE (від англ. Run-length encoding), кодування шляхом обліку довжин повторів. Принцип його роботи дуже простий – записується колір точки і кількість його повторів до іншого кольору.

Якщо довгих послідовностей багато, то результат буде очевидно краще, якщо повторів немає, то розмір зображення навіть виросте.

У сучасних системах використовують найчастіше більш складні алгоритми, побудовані на пошуку повторюваних послідовностей, а не просто кольорів. Такі методи ефективні при стисненні креслень, контурних малюнків, тексту і т.д.

Очевидно, що для зображень з малою кількістю повторів (практично всі фотографії) такі методи будуть неефективні – кольори поруч хоч трохи, але розрізняються.

Тому метод RLE в даний час використовується рідко. Друга група методів отримала назву стиснення з втратами: зображення стискується цими методами з спотворенням, тобто втратою частини інформації. Незважаючи на формальні втрати, в реальних умовах людина прийме це спотворення як допустиме (а іноді взагалі не помітить).

В таких методах стиснення використовується кілька прийомів:

- 1) деякі компоненти кольору людина сприймає гірше інших, тому можна відвести на них менше бітів – однак різниця буде малопомітна;
- 2) якщо різниця в яскравості між сусідніми пікселями невелика, то їх кольору можна наблизити один до одного - різниця буде не дуже помітна.

У найбільш популярному алгоритмі стиснення зображень з втратами JPEG зображення розбивається на квадрати розміром  $8 \times 8$  пікселів і всередині цих квадратів виконується кілька перетворень.

При виконанні стиснення з втратами, як правило, можна задати коефіцієнт стиснення - і чим вище цей коефіцієнт, тим менше буде стисло зображення, але тим краще буде його якість при відновленні. Сильно стислий зображення буде «розсіпатися» на квадрати.

Фотореалістичні зображення. Моделювання фізичного світу. З ростом обчислювальної потужності та доступності елементів пам'яті, з появою якісних графічних терміналів і пристроїв виведення була розроблена велика група алгоритмів і програмних рішень, які дозволяють формувати на екрані зображення, що представляє деяку об'ємну сцену. Перші такі рішення були призначені для вирішення завдань архітектурного і машинобудівного проектування.

При формуванні такого зображення (статичного чи динамічного) його побудова розглядається в межах деякого простору координат, яке називається сценою.

Сцена має на увазі роботу в об'ємному, тривимірному просторі, тому і напрямком отримав назву тривимірної (3-Dimensional, 3D) графіки.

На сцені розміщуються окремі об'єкти, складені з геометричних об'ємних тіл і ділянок складних поверхонь (найчастіше для побудови застосовуються так звані В-сплайни). Для формування зображення і виконання подальших операцій поверхні цих тіл розбиваються на трикутники – мінімальні плоскі фігури і надалі обробляються саме як набір трикутників.

На наступному етапі світові координати вузлів сітки перераховують за допомогою матричних перетворень в координати видові, тобто що залежать від точки зору на сцену. Положення точки перегляду, як правило, називають становищем камери.

Після формування каркаса ( “дротяної сітки”) виконується зафарбовування – надання поверхням об'єктів деяких властивостей. Властивості поверхні в першу чергу визначаються її світловими характеристиками – світністю, відбиваючою, поглинаючою та розсіюючою здатністю. Цей набір характеристик дозволяє визначити матеріал, поверхня якого моделюється, - метал, пластик, скло і т.д. Матеріали прозорі і напівпрозорі мають ще ряд характеристик.

Як правило, під час виконання цієї процедури виконується і відсікання невидимих поверхонь. Існує багато методів виконання такого відсікання, але найпопулярнішим став метод Z-буфера, коли створюється масив чисел, що позначає “глибину” – відстань від точки на екрані до першої непрозорою точки. Наступні точки поверхні будуть оброблені тільки тоді, коли їх глибина буде меншою, тоді

координата  $Z$  зменшиться. Потужність цього методу безпосередньо залежить від максимально можливого значення віддаленості точки сцени від екрану, тобто від кількості бітів на точку в буфері.

Виконання зазначених операцій дозволяє створити так звані твердотільні моделі об'єктів, але реалістичним це зображення не буде. Для формування реалістичного зображення на сцені розміщуються джерела світла і виконується розрахунок освітленості кожної точки видимих поверхонь.

Для додання реалістичності поверхня об'єктів “вдягається” текстурою – зображенням (процедурою, яка формує його), що визначає нюанси їх зовнішнього вигляду. Процедура називається накладенням текстури. Під час накладання текстури застосовуються методи розтягування і згладжування – так звана фільтрація.

Після визначення всіх параметрів необхідно виконати процедуру формування зображення, тобто розрахунок кольору точок на екрані. Процедура обрахування називається рендерингом. Під час виконання такого розрахунку необхідно визначити світло, що потрапляє на кожну точку моделі, з урахуванням того, що воно може відобразитися, що поверхня може закривати інші ділянки від цього джерела і т.д.

Для розрахунку освітленості застосовуються два основні методи. Перший – метод зворотного трасування променя. При використанні цього методу розраховується траєкторія тих променів, які в підсумку потрапляють в пікселі екрану по зворотному ходу. Розрахунок ведеться окремо по кожному з колірних каналів, оскільки світло різного спектру поводить себе на різних поверхнях по-різному.

Другий метод – метод випромінюваності. Він передбачає розрахунок інтегральної світності всіх ділянок, що потрапляють в кадр, і обмін світлом між ними.

На отриманому зображенні враховуються задані параметри камери – засоби перегляду.

Таким чином, в результаті великої кількості обчислень з'являється можливість створювати зображення, що мало відрізняються по загальному враженню від фотографій. Для зменшення кількості обчислень намагаються зменшити число

об'єктів і там, де це можливо, замінити розрахунок фотографією, наприклад, при формуванні фону зображення.

Після розробки методів формування статичного зображення наступним кроком у розвитку технологій тривимірної реалістичної графіки стали можливості її анімації – руху і покадрової зміни сцени. Спочатку з таким обсягом розрахунків справлялися тільки суперкомп'ютери, і саме вони використовувалися для створення перших тривимірних анімаційних роликів.

При моделюванні і проектуванні різних об'єктів в процесі створення ігор, зйомок фільмів, розробки тренажерів у завдання формування реалістичного зображення з'являється ще один суттєвий аспект – моделювання не просто рухів і зміни об'єктів, а моделювання їх поведінки, відповідно до фізичних принципів навколишнього світу.

Такий напрям, з урахуванням застосування всіляких апаратних засобів передачі впливів зовнішнього світу і підвищення ефекту присутності, отримало назву віртуальної реальності.

Для реалізації такої реалістичності створюються спеціальні методи розрахунку параметрів і перетворення об'єктів – зміни прозорості води при її русі, розрахунок поведінки і зовнішнього вигляду вогню, вибухів, зіткнення об'єктів і т.д. Такі розрахунки носять досить складний характер, і для їх реалізації в сучасних програмах запропоновано цілий ряд методів.

Один з них – це обробка і використання шейдерів – процедур, що змінюють освітленість (або точне положення) в ключових точках за певним алгоритмом. Це дозволяє створювати ефекти “хмара, що світиться”, “вибух”, підвищити реалістичність складних об'єктів і т.д.

З'явилися і стандартизовані інтерфейси роботи з “фізичної” складової формування зображення, що дозволяє підвищити швидкість і точність таких розрахунків, а значить і реалістичність створюваної моделі.

Тривимірна графіка – одне з найбільш видовищних і комерційно успішних напрямків розвитку інформаційних технологій, часто її називають одним з основних стимулів розвитку апаратного забезпечення.

Засоби тривимірної графіки активно застосовуються в архітектурі, машинобудуванні, медицині, наукових роботах, при зйомці кінофільмів, в комп'ютерних іграх, навчанні.

Більшу частина відомостей про навколишній світ людина отримує за допомогою зору, тому дуже важливо мати метод збереження такого зорового образу, реального або вигаданого. Для візуального представлення інформації розроблено цілий напрямок інформаційних технологій. Засоби комп'ютерної графіки використовуються завжди, коли потрібно представити інформацію для зорового сприйняття.

Для зберігання і обробки зображень в комп'ютерній графіці передбачені два основних методи їх подання: у вигляді матриці однакових прямокутників (пікселів), забарвлених в різні кольори, – растрова графіка, або у вигляді математичного опису фігур і параметрів їх відображення – векторна графіка.

Загальним засобом відображення фігур або точок растра для цих засобів є колір. Кодування кольору виконується за допомогою різних методів його опису – колірних моделей. Частіше за інших використовується адитивна (сумуюча компоненти) модель RGB, субтрактивна (яка розглядає відбите світло, віднімальна) модель CMYK, а для відображення людських представлень – модель HLS.

Растрова графіка дозволяє зберегти і обробити будь-яке зображення, не виділяючи в ньому окремі об'єкти реального світу. Таким чином можна працювати з фотографіями, малюнками і т.д. При обробці таких зображень часто застосовують шари (формування зображення з частин, накладених один на одного, із зазначенням параметрів накладення), фільтри (засоби перетворення кольорів точок в деякому околі). Геометричні перетворення растрового зображення часто призводять до погіршення його якості, оскільки дії виконуються над координатами точок формально.

Зростання обчислювальних можливостей дозволив створити і широко застосовувати засоби відображення і обробки не тільки готових плоских зображень, але і об'ємних. Оскільки ці методи розглядають подання зображення в трьох вимірах,

то підхід отримав назву тривимірної (3-dimensional, 3D) графіки. При побудові тривимірного зображення воно представляється у вигляді опису поверхонь з набором параметрів (колір, фактура, матеріал і ін.) та вказанням розташування джерел світла. На підставі цього опису будується плоске зображення, для якого розраховується колір кожної точки растра, яким він сприймався б із заданої точки через оптичний пристрій камеру. Вийшло плоске зображення може бути настільки схожим на фотографію, що їх також називають фотореалістичними зображеннями.

## 2.6. Висновки до розділу 2

Растрова графіка – основний засіб представлення зображення при його показі або друку.

Векторна графіка застосовується тоді, коли можна уявити зображення у вигляді набору об'єктів. Векторна графіка дозволяє виробляти геометричні операції без помітних спотворень, оскільки перераховуються всі ключові параметри. При відображенні окремих елементів потрібно конвертувати опис в набір точок растра. Така операція називається растеризуванням.

Векторна графіка – основа створення і обробки синтезованих зображень: креслень, шрифтів, плакатів і т.д.

### РОЗДІЛ 3

## МЕТОД ТА АЛГОРИТМ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

Виникнення критично важливих для часу додатків для обробки медичних зображень, комп'ютерного зору та розпізнавання образів породило потребу в рішеннях для обробки зображень у реальному часі.

Реалізація високопропускних рішень для обробки зображень стала можливою завдяки нещодавньому вдосконаленню високошвидкісних систем камер [1, 2] та появі найсучасніших інструментів CAD, що призводять до швидкого впровадження обладнання. Принципова проблема, яка зазвичай зустрічається в цих критично важливих для часу програмах – це обертання зображень, часто високої роздільної здатності. виправлення медичних зображень у реальному часі під час ендоскопії [3] та реєстрація астрономічних зображень [4, 5] є типовими прикладами застосувань, які потребують обертання зображення з високою пропускною здатністю.

Звичайне обертання зображень передбачає виконання тригонометричних обчислень на кожному пікселі зображення.

Раніше повідомлені апаратні реалізації для обертання зображення покладаються на метод LUT (оглядова таблиця) або метод на основі CORDIC (цифровий комп'ютер обертання координат) для спрощення складних тригонометричних операцій. CORDIC [6] здатний виконувати серію мікро-обертів на векторі, що лежить на площині  $X - Y$  над потрібним кутом введення, використовуючи прості операції додавання-зміщення. Однак ітеративний характер CORDIC може призвести до погіршення продуктивності, особливо для зображень з високою роздільною здатністю. Альтернативна методика подолання неефективності тригонометричних обчислень – використання LUT для зберігання всіх можливих значень синуса та косинуса. Однак, оскільки розмір LUT регулюється роздільною здатністю кутів, які можна обертати, понесені апаратні витрати стають небажаними для додатків, які потребують високої роздільної здатності обертання.



У цій роботі пропонується нова апаратна реалізація для обертання зображень з високою роздільною здатністю, яка замінює обчислювальні роботи CORDIC на комп'ютері з простими доповненнями. Запропонований метод заснований на трьох простих прийомах:

- 1) ієрархічна стратегія;
- 2) експлуатація симетрії зображення;
- 3) експлуатація порядку пікселів.

Крім того, вводиться параметр під назвою ієрархія та показано, як він впливає на загальну ефективність архітектури. Продемонстровано, що оптимальний вибір цього параметра може призвести до дуже високої пропускної здатності. Примітно також, що запропонована реалізація може бути інтегрована з різними схемами інтерполяції пікселів для відображення обернених позицій пікселів на вихідні положення пікселів. У наступному розділі ми розпочнемо з опису двох існуючих апаратних реалізацій для обертання зображення, які використовувати відповідно методи LUT та CORDIC.

На сьогоднішній день проведено дуже обмежену роботу над реалізацією обладнання для обертання зображення, які відповідно використовують методи, засновані на CORDIC та LUT.

### 3.1. Реалізація на основі LUT

Обертання зображень, яке ґрунтується на відображенні пікселів по лінії сканування растрових ліній у вихідному зображенні до горизонтальної лінії сканування у поверненому просторі зображення [8]. Лінії перекосу паралельні одна одній у вихідному зображенні та нахилені під кутом  $\theta$  до горизонталі, де  $\theta$  – заданий кут повороту. Конструкція використовує LUT для зберігання величин синуса і косинуса, необхідних для обчислення початкового обертового положення. Завдяки відставанню відображення пікселів на повернутому зображенні дірки або накладання, які зазвичай вводяться в повернуте зображення, були усунені.

Однак пропускну спроможність все ще обмежена, оскільки в цій архітектурі не використовується паралелізм. Хоча ця методика має паралелізм, вона має обчислювальні витрати та суттєве збільшення витрат на обладнання. Показано, як основна частина операцій може бути виконана за допомогою лише операцій додавання. Однак стає неминучим виконувати принаймні один набір операцій множення для отримання адреси першого пікселя в першій лінії сканування. Це відбувається тому, що зберігаються лише значення синуса і косинуса, а обчислення, що нагадують (1) і (2), є обов'язковими для отримання вихідної адреси першої лінії перекосу, перш ніж генерувати інші адреси простими операціями додавання. Цей накладний набір стає більш помітним, коли архітектура паралельна. Більше того, він не відповідає масштабам зображень, які вимагають високої роздільної здатності обертання. Наприклад, якщо роздільна здатність обертання буде точнішою (наприклад,  $0,1^\circ$  замість  $1^\circ$  до  $0,1^\circ$ ), пам'ять, необхідна для зберігання значень синус / косинус, зросте в десять разів.

### 3.2. Реалізація на основі CORDIC

#### 3.2.1. Поворот пікселя-піксель на основі CORDIC

Алгоритм CORDIC використовується для підвищення апаратної ефективності систем обертання зображень, що базуються на обчислювальних перетвореннях на кожному пікселі зображення [9].

Нехай  $\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}$  – координати пікселя, повернутого на кут  $\phi$ , де  $\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix}$  – вихідне положення пікселя. Рівняння (1) і (2) показують залежність між  $\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}$  і  $\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix}$

$$x' = \cos \phi (x_0 - \delta y_0 \tan \phi) \quad (3.1)$$

$$y' = \cos \phi ( y_0 - \delta x_0 \tan \phi ) \quad (3.2)$$

де  $\delta = +1 / -1$  , коли  $\phi = +ve / -ve$  .

Алгоритм CORDIC, розроблений Волдером [6], використано для зменшення складності тригонометричних обчислень у (1) та (2). Обчислення CORDIC виконує серію мікро-обертів вектору, що лежить на площині X – Y над потрібним кутом введення, використовуючи прості операції додавання-зміщення. Алгоритм заснований на принципі, що будь-який кут можна наблизити як суму  $n$  мікро кутів форми

$\arctan 2^{-i}$  (тобто  $\phi = \sum_{i=1}^n \pm \arctan 2^{-i}$  . Рівняння для мікроповоротів

CORDIC, показані в (3) та (4), отримано з (1) та (2), замінивши множення простими операціями зміщення на  $i$  позиції

$$x_{i+1} = k ( x_i - \delta_i y_i 2^{-i} ) \quad (3.3)$$

$$y_{i+1} = k ( y_i - \delta_i x_i 2^{-i} ) \quad (3.4)$$

Архітектури обертання зображень, які покладаються на перетворення пікселів-піксель, є інтенсивними для обчислень CORDIC. В недавньому минулому було багато спроб покращити продуктивність алгоритму CORDIC, що включало використання надлишкових систем числення [10, 11] та архітектурних удосконалень, таких як конвеєрність та паралелізм [12]. Хоча ці досягнення продемонстрували величезне вдосконалення алгоритму CORDIC, кількість операцій CORDIC все ще залишиться вузьким місцем, що обмежує пропускну здатність архітектури.

Це посилюється в системах, які обробляють зображення з високою роздільною здатністю, оскільки кількість обчислень CORDIC пропорційно збільшується з кількістю пікселів зображення.

### 3.2.2. Конвеєрно-паралельна архітектура

Конвеєрно-паралельна архітектура [7, 13] дозволяє зменшення кількості обчислень CORDIC в системі обертання зображень. Була запропонована конвеєрно-паралельна архітектура для обертання зображення за допомогою CORDIC, де зображення  $512 \times 512$  спочатку розділено на вікна  $8 \times 8$  [7]. Повернені положення центрів 64 вікон спочатку обчислюються за допомогою алгоритму CORDIC і зберігаються на етапі ініціалізації, див. рис. 3.1.

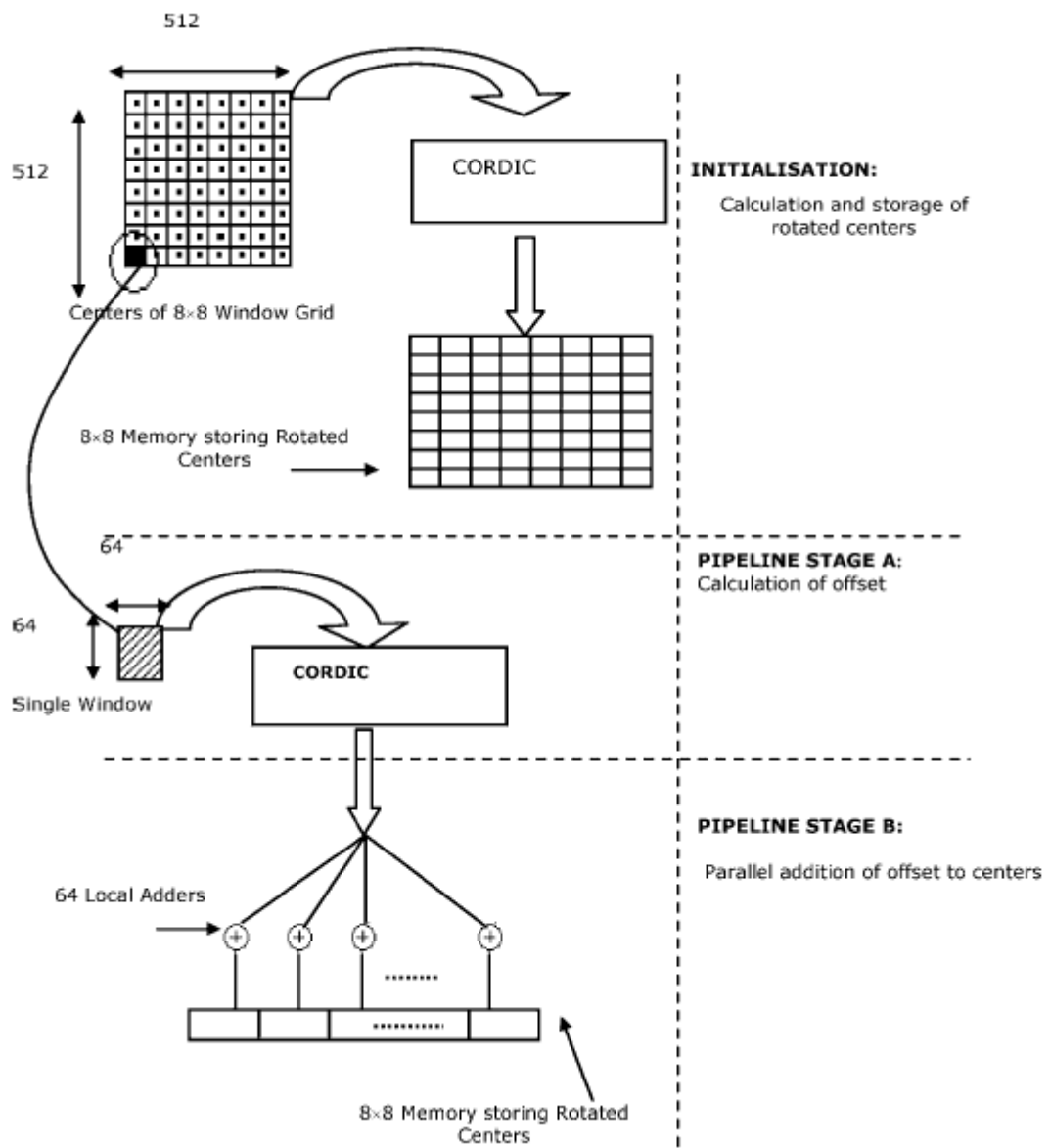


Рисунок 3.1. Ілюстрація методу обертання

На стадії А відносно повернене зміщення кожного пікселя відносно центра його вікна обчислюється за допомогою алгоритму CORDIC. Для розрахунку зміщення враховуються лише пікселі одного вікна, оскільки відносні зміщення відповідних пікселів у кожному вікні однакові. У стадії В це зміщення додається паралельно 64 оберненим віконним центрам, використовуючи локальні суматори, щоб генерувати обернені положення 64 відповідних пікселів одночасно. Алгоритм CORDIC, використовуваний для зображення  $512 \times 512$  [7], виконує 12 ітерацій CORDIC з 20-бітовою шиною передачі даних.

Вузьке місце цього підходу виникає внаслідок ітеративних мікрообертів CORDIC. По-перше, у підході є висока затримка ініціалізації, оскільки для отримання повернутих центрів вікон потрібно 64 обчислення CORDIC. Крім того, для кожного пікселя в одному вікні необхідні обчислення CORDIC на стадії А. Це вимагає додаткових  $64 \times 64 = 4096$  CORDIC обчислень, що сприяє високій загальній затримці.

### 3.3. Пропонований метод

Схема обертання зображень, запропонована в цій роботі, стосується вузького місця обчислювального підходу в [7], без необхідності великого LUT, що є потенційною проблемою в роботі [8]. Для підвищення пропускнуої здатності процесу обертання запропоновано наступні схеми:

- використання ієрархічного підходу для генерації поворотних центрів, щоб значно зменшити затримку ініціалізації;
- використання симетричних характеристик системи координат зображень для подальшого зменшення кількості обчислень CORDIC для обчислення поворотних центрів;
- заміна обчислень CORDIC у розрахунку зміщення на доповнення шляхом використання порядку координат пікселів.

### 3.3.1. Ієрархічний підхід для генерування центрів обертання

Цей метод спрямований на зменшення кількості обчислень CORDIC на етапі ініціалізації шляхом рекурсивного розподілу зображення на ієрархічні шари квадранти. Для пояснення цього методу ми візьмемо приклад  $8 \times 8$  вікон та трьох їх ієрархічних квадрантних шарів, див. рис. 3.2. Центр вікна лежить в одному квадранті в кожному з трьох шарів квадранта. У наведеному прикладі центр P має (A, B, C) як свій набір ідентифікаційних квадрантів у шарах 1, 2 та 3 відповідно. Повернуте положення будь-якого центру P (стосовно центру зображення) еквівалентно сумі позицій центрів, які обертаються ідентифікаційних квадрантів щодо центрів шарів.

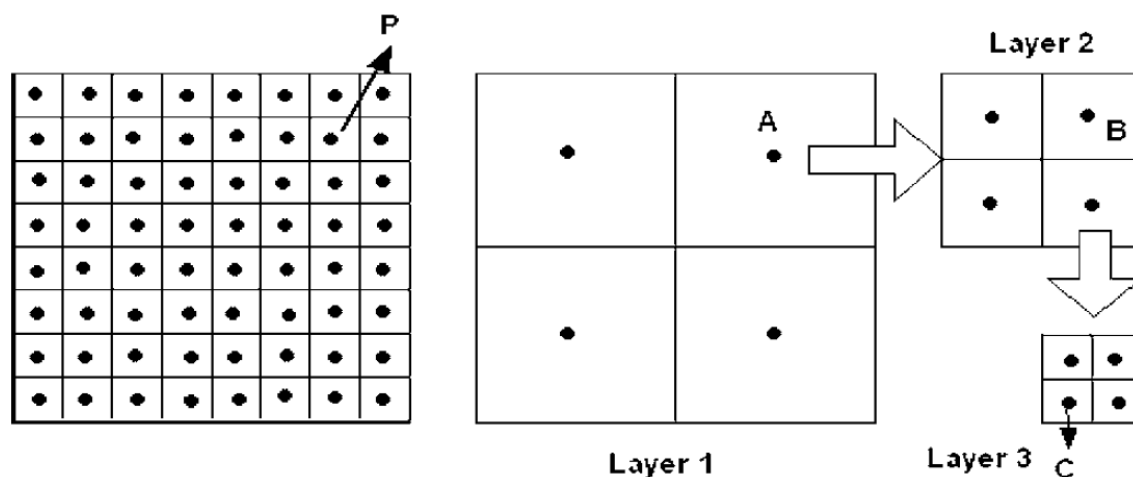


Рисунок 3.2. Ієрархічне обертання центрів

Таким чином, кількість операцій CORDIC для отримання  $8 \times 8$  віконних центрів можна зменшити, обчислюючи лише 816 повернутих позицій чотирьох центрів кожного шару, а згодом генеруючи повернені положення всіх центрів за допомогою різних комбінацій додавання 12 центрів. Це фактично зменшило кількість обчислень CORDIC з 64 до 12.

Як описано [7], більший розмір вікна може призвести до підвищення продуктивності, оскільки на стадії A буде менша кількість зміщень (рис. 3.1). Це означає, що запропонований метод може використовувати більшу кількість ієрархічних шарів для підвищення продуктивності. Однак збільшення кількості ієрархічних шарів потребує більшої кількості доповнень для отримання всіх повернутих центрів вікон

на етапі ініціалізації. Отже, вибір кількості ієрархічних шарів впливає на загальну продуктивність.

### 3.3.2. Використання симетричних характеристик для скорочення обчислень CORDIC

Ми можемо додатково зменшити кількість обчислень CORDIC на етапі ініціалізації, використовуючи той факт, що координати віконних центрів в ієрархічних шарах симетричні щодо осей координат. Отже, в ієрархічних шарах з однаковою кількістю горизонтальних і вертикальних пікселів нам потрібно лише виконати обчислення CORDIC на одному представницькому центрі шару. За трьома центрами зображень можна зробити висновок, використовуючи симетричні характеристики системи координат. У випадку ієрархічних шарів з різною кількістю горизонтальних та вертикальних пікселів (прямокутні зображення) потрібні два обчислення CORDIC. Примітно, що для виведення решти віконних центрів потрібно не більше простого заперечення (див. рис. 3.3) цього поняття про виведення центрів, що обертуються у вікні, виходячи із симетричних характеристик зображення.

Наприклад, обчислюючи  $[x', y']$  повернене положення  $[x, y]$ , ми можемо легко вивести обернені позиції  $[x, -y]$ ,  $[-x, -y]$  і  $[-x, y]$ . Це призвело до подальшого зменшення кількості обчислень CORDIC з 12 до 3.

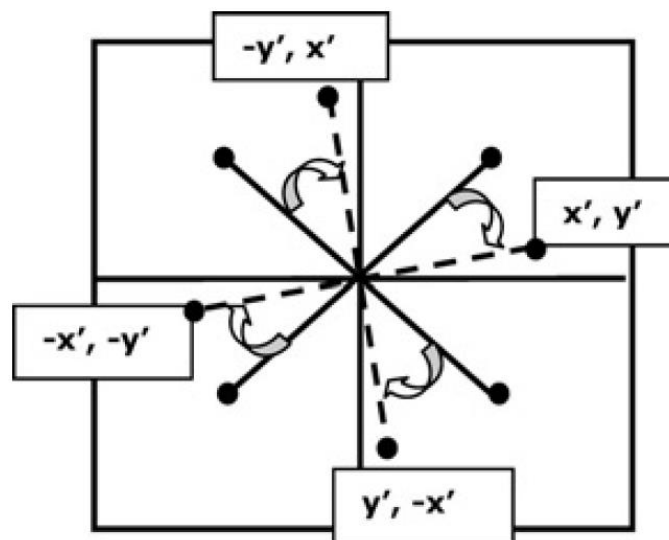


Рисунок 3.3. Подання обернених значень пікселів на основі симетрії зображення

### 3.3.3. Генерація зміщення пікселів

Пропонується апаратна ефективна методика для зменшення обчислювальної складності стадії А (рис. 3.1). Зміщення кожного пікселя у вікні  $64 \times 64$  обчислюються за допомогою ітеративних обчислень CORDIC [7]. Однак якщо координати пікселів подаються в послідовному порядку для розрахунків зміщення, достатньо обчислити зміщення лише одного пікселя і збільшити результат на регулярне значення ( $\sin \phi$  або  $\cos \phi$ ), щоб отримати компенсації сусідніх пікселів. Пояснення цьому можна отримати, проаналізувавши (3) та (4) вхідні значення  $[x, y]$ ,  $[x + 1, y]$  і  $[x, y + 1]$ , оскільки сусідні пікселі відрізняються рівно на 1 одиницю. Діаграма, показана, яка висвітлює процес див. рис. 3.4. Це зводить обчислення  $64^2$  CORDIC до простих доповнень.

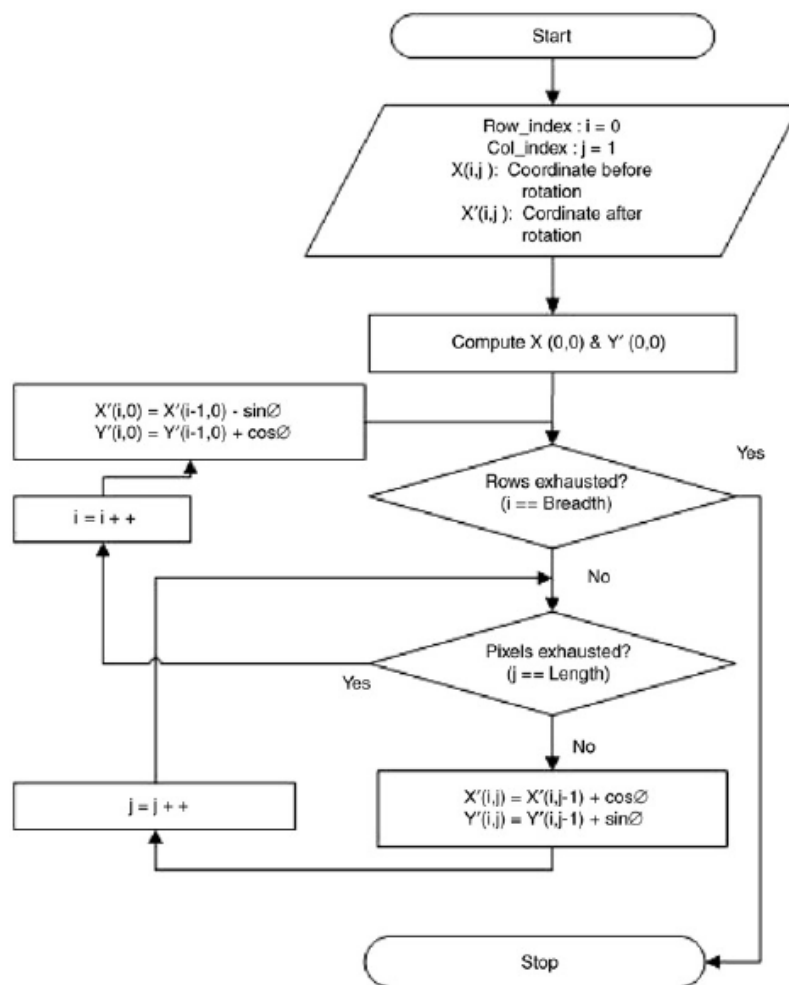


Рисунок 3.4. Розрахунок зміщення



### 3.4. Огляд системи

Загальний процес обертання розділений на генерацію обертаючих центрів та генерацію зміщення, що працюють за аналогічними лініями [7]. Для ілюстрації ми фіксуємо кількість ієрархічних шарів до трьох, і вважаємо, що ієрархічні шари мають рівну кількість горизонтальних і вертикальних пікселів. Основні обчислення див. рис. 3.5.

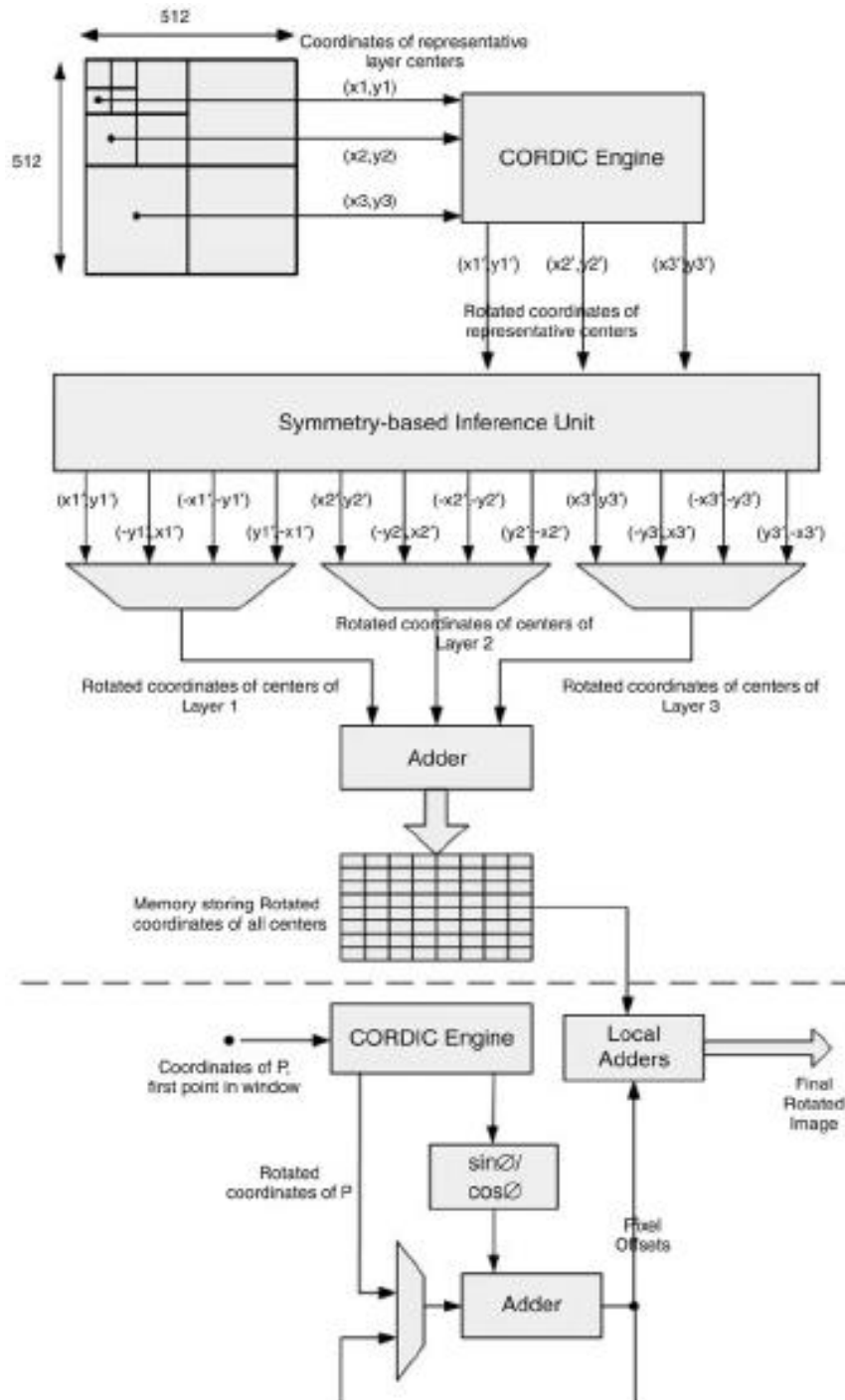


Рисунок 3.5. Пропонований алгоритм обертання зображень

Обернене положення одного центру вікна від кожного ієрархічного шару спочатку обчислюється за допомогою CORDIC. Згодом обернені значення залишкових центрів вікон в ієрархічних шарах виводяться через “Орієнтування на основі симетрії”. Як обговорювалося раніше, для цього потрібна максимум проста операція заперечення. Виходи цього блоку додаються в різних комбінаціях для створення  $8 \times 8$  повернутих позицій центрів вікон. Ці значення зберігаються в пам'яті, яка буде використана на наступному етапі.

Для генерації зміщення пікселів значення синуса і косинуса кута отримують за допомогою алгоритму CORDIC. Потім обертання виконується на першому пікселі вікна за допомогою алгоритму CORDIC для генерації  $X'$  та  $Y'$ . Подальші зсуви отримують шляхом поступового додавання значень синуса та косинуса до раніше обчислених  $X'$  та  $Y'$ , див. рис. 3.4. Коли ці зміщення генеруються, вони одночасно додаються до всіх центрів, використовуючи локальний масив додавання, щоб отримати остаточні обернені координати пікселів.

### 3.5. Аналіз точності запропонованої системи

Точність запропонованої системи обертання зображення регулюється двома факторами: (1) схемою інтерполяції, застосованої в системі обертання зображення, та (2) похибкою обертового положення пікселя. Певний ступінь точності заключного обертового положення часто потрібен для вибору певних схем інтерполяції. Варто зазначити, що запропонована система може використовувати різні схеми інтерполяції, що базуються на вимозі програми, використовуючи реалізацію CORDIC з достатньою точністю.

#### 3.5.1. Інтерполяційні схеми

Концептуально обертання зображення вимагає двох кроків: перетворення системи координат з подальшою інтерполяцією пікселів. Інтерполяція необхідна,

коли перетворені піксельні позиції не збігаються з вихідними положеннями пікселів. Нові значення пікселів отримують шляхом інтерполяції вихідних пікселів в околиці перетвореного положення пікселя.

Існує багато популярних функцій інтерполяції, які включають найближчий сусідній, білінійний, бікубічний многочлен, кубічний сплайн і гаусовий [14]. Запропонована система може легко вмістити будь-яку з цих інтерполяційних схем. Вибір схеми інтерполяції передбачає три основні міркування:

- а) обчислювальна вартість;
- б) необхідна якість кінцевого зображення;
- в) точність обертового положення пікселя.

Існує пряма вартість врахування при виборі серед цих функцій інтерполяції. Наприклад, найближчий сусід вимагає найменшої кількості обчислень, оскільки не потрібно ніяких арифметичних операцій. Інтерпольованій точці вихідних даних присвоюється значення найближчої вибіркової точки з вихідних даних [15], кубічна інтерполяція вимагає на 40% менше множень, ніж двокутова інтерполяція.

Іншим врахуванням при виборі методів інтерполяції є бажана точність кінцевого зображення. Кожен метод має можливість реконструювати вибіркоче зображення з певним ступенем точності. Видно, що з усіх розглянутих методів інтерполяції найближчий сусід видає помітний шум і нерівні краї [15].

Ще одне важливе питання, що супроводжує вибір методу інтерполяції – це точність обертового положення пікселя, яке має відповідати розміру ядра інтерполяції. Іншими словами, якщо поворотна координата має точність на 1 піксель, то можливим буде лише метод найближчого сусіда. Інші два методи вимагають точності підпікселя координатної позиції. Наприклад [14], для реалізації гаусової інтерполяції кожен піксель призначення трактується як масив з  $65 \times 65$  субпікселів.

### 3.5.2. Точність положення обертового пікселя

Помилки квантування, які впливають на точність остаточного обертового положення координати в нашій системі, як описано [15], алгоритм CORDIC по суті страждає від двох типів помилок квантування, які пов'язані з:

- а) наближення кута, що виникає внаслідок кінцевої кількості мікрообертів;

b) використання регістрів обмеженої довжини даних CORDIC.

Перший тип помилок притаманний алгоритму CORDIC і залежить від кількості обраних ітерацій. Однак другий тип є суто дизайнерським питанням, оскільки на нього впливає розмір регістрів обмеженої довжини. У запропонованому підході помилка буде введена через велику кількість доповнень під час обчислень. Запропонована методика забезпечує засоби для розробки конструкцій на основі точності та площі компромісів. Для зображення  $512 \times 512$  було виконано моделювання довжини регістра, що змінюється від 12 до 32. Максимальна помилка визначається як  $[\max(\text{error } x) + \max(\text{error } y)] / 2$ , де  $\text{error } x$  та  $\text{error } y$  помилки є максимальними помилками у координатах  $x$  та  $y$  відповідно. Для кожної довжини каналу даних ця помилка записується для всіх кутів, і максимум цих помилок будується на логарифмічній шкалі, див. рис. 3.6.

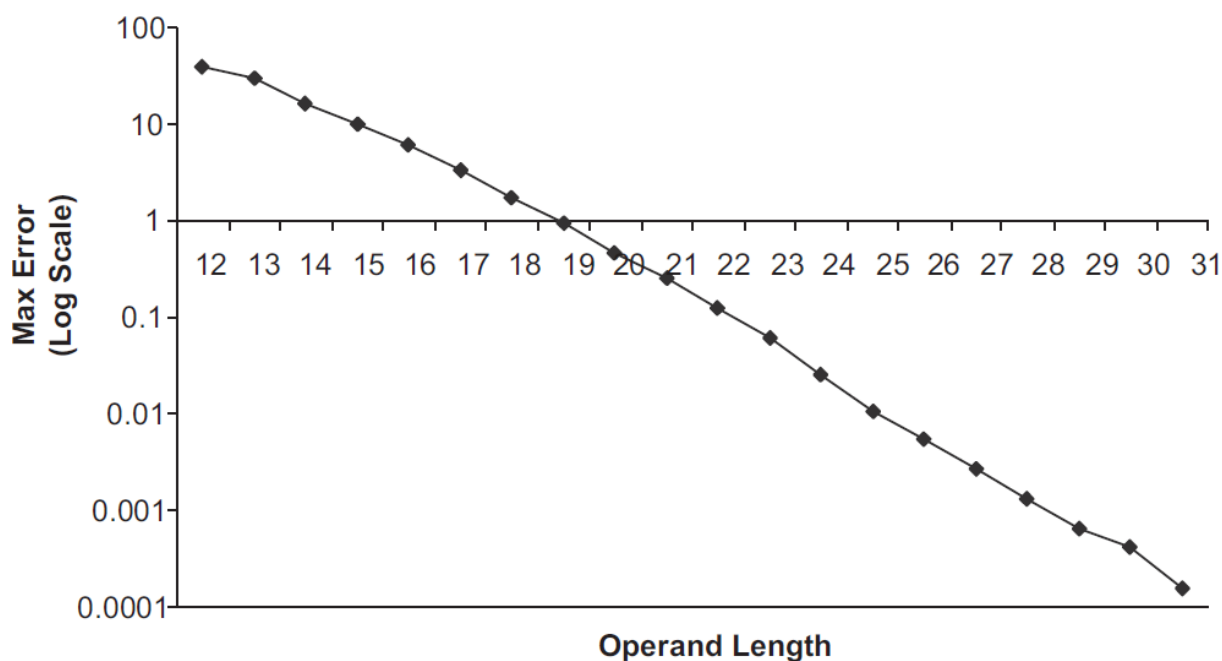


Рисунок 3.6. Точність положення обертання відносно довжини операнду

Можна помітити, що похибка зменшується в експоненціальному масштабі зі збільшенням довжини операнду і стає незначною для дуже високої довжини операндів. Як було сказано раніше, вибір методу інтерполяції залежить від конкретного застосування, і схеми обертання, запропоновані в цій роботі, не залежать від

них. Різні схеми інтерполяції можуть бути прийняті шляхом зміни довжини регістра для забезпечення достатньої точності. У решті розділів ми приймаємо ту саму інтерполяційну схему [7], яка є методом найближчої сусідньої інтерполяції, щоб порівняти дві системи.

### 3.6. Результати та порівняння

#### 3.6.1. Вибір ширини даних

Показано, що будь-яка додаткова помилка, яка викликається за рахунок фіксованих розмірів реєстру, може повністю компенсуватися шляхом збільшення ширини даних. Щоб проілюструвати це, обирається розмір зображення як  $512 \times 512$ , схема інтерполяції як найближчого сусіда, і щоб зберегти помилку, порівнянну з такою у [7], замінено регістри та суматори довжиною 20 [7] на такі довжиною 25. Кількість ієрархічних шарів обрано три, щоб підтримувати розміри вікон порівняння див. рис. 4.7. Показано графік середньої помилки на піксель для запропонованого методу з довжиною регістру 20 та 25. Похибка отримується шляхом порівняння результатів із звичайним методом обертання, який виконує операції CORDIC на кожному пікселі в  $512 \times 512$  зображення. Виходи (обернені  $x$  і  $y$  координати) порівнювали з методом обертання пікселів за всіма кутами від  $0^\circ$  до  $45^\circ$  з роздільною здатністю  $1^\circ$ .

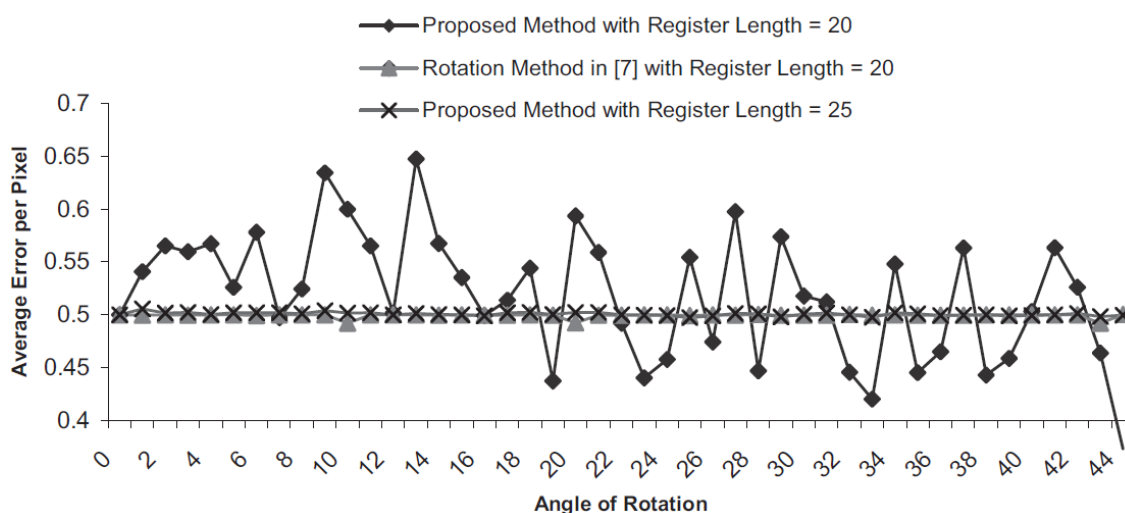


Рисунок 3.7. Більша ширина даних для приховування зайвих помилок квантування

### 3.7. Порівняльний аналіз

Запропоновано алгоритм обертання, який порівнюється з алгоритмом, запропонованим [7], з точки зору конструктивних міркувань, складності обчислювальної техніки, затримки та загальної площі зображення  $512 \times 512$ . Використовується 12-ітераційний алгоритм CORDIC. Ширина даних суматорів-регістрів, що використовуються в алгоритмі CORDIC, для методу, запропонованого [7], та запропонованого методу – 20 біт і 25 біт відповідно. Виходи CORDIC на етапі А (рис. 3.1) обрізаються на 10 біт до додавання на етапі В. Отже, ширина даних локальних надбавок в обох методах шириною 10 біт. Застосовано 8 вікон, що спричиняє 64 центри вікон та розмір вікна  $64 \times 64$ . Для отримання цієї конфігурації для запропонованого методу була обрана ієрархія з трьох. Оцінки затримки отримують із стандартної комірки бібліотеки Passport 0,35 Micron [16].

#### 3.7.1. Обчислювальна складність

Весь процес обертання по суті складається з додавання та функцій CORDIC, які будуть проаналізовані окремо для обох методів (рис. 3.1 і 3.5). У роботі [7] 64 вікна обертаються під час фази ініціалізації, і це становить 64 операції CORDIC. У запропонованому методі три центри обертаються і згодом проводяться два додавання для кожного обертового центру. Отже, на етапі ініціалізації виконуються три обчислення CORDIC та 128 додавань. Для генерації зміщення техніка, запропонована [7], виконує обертання для кожного з  $64 \times 64$  пікселів у вікні зміщення, що становить  $64^2 = 4096$  CORDIC операцій. У запропонованому методі проводиться одне обчислення CORDIC для обертання першого пікселя вікна зміщення та іншого обчислення CORDIC для отримання синусних та косинусних значень кута введення. Згодом решту 4095 компенсацій отримують за допомогою додавання. Після того, як генеруються зміщення та обертаються центри, кінцева фаза є однаковою для обох методів, коли кожне зміщення додається до всіх центрів, які обертаються, використовуючи локальні суматори, щоб генерувати 64 обертових пікселів одночасно. Кількість різних обчислень, що беруть участь у кожному етапі, узагальнено в таблиці 3.1, і видно, що в запропонованому методі є менше операцій CORDIC.

Таблиця 3.1

## Порівняння об'єму, затримки, обчислювальної складності

	Метод згідно [7]		Пропонований метод	
	Затримка обчислення $T_{FA}$	399360		19199
Об'єм $A_{FA}$	3817		3951	
Обчислювальна складність	CORDIC	Додавання	CORDIC	Додавання
Ініціалізація	64	-	3	$64 \times 2$
Етап А	$64^2$	-	2	$64^2 - 1$
Етап В	-	$64^3$	-	$64^3$

## 3.7.2. Порівняння затримок

Почнемо з оцінки затримки обчислень CORDIC для методу [7] та запропонованого методу. Передбачається, що всі додавання реалізовані за допомогою суматора з прискореним переносом (CLA), а оцінки затримки складаються з повної затримки обчислення  $T_{FA}$ . Орієнтовна затримка для n-бітового додавання CLA становить  $(\log_2 n) T_{FA}$ . Отже, 10-бітне додавання оцінюється на  $3,32 T_{FA}$ , 20-бітне додавання  $4,32 T_{FA}$ , а 25-бітне додавання займає  $4,64 T_{FA}$ . Алгоритм CORDIC включає операції додавання та зміщення.

Якщо припустити, що операції зміщення здійснюються за допомогою створених перемикачів на базі MUX, максимальне зміщення 12 позицій гарантує чотири рівні MUX. Отже, затримка, що приписується операції зміщення, дорівнює  $4 T_{MUX}$ , де  $T_{MUX}$  – затримка мультиплексора 2 – 1. Операція CORDIC з 12 ітерацій включає 12 додавань та 12 змін та затримку через використання регістрів. Ми припускаємо, що  $T_{F-F}$  – затримка регістра. Можна також припустити, що  $T_{F-F} \approx T_{FA}$  і  $T_{MUX} \approx 0,65 T_{FA}$  [17]. Виходячи з цих значень, обчислювальна затримка CORDIC для методу [7] становить  $96 T_{FA} \left\{ T_{CORDIC-[7]} = \left[ 12 \times (4,32 T_{FA} + T_{F-F} + 4 T_{MUX}) \right] \right\}$ , у запропонованому методі  $99 T_{FA} \left\{ T_{CORDIC-NEW} = \left[ 12 \times (4,64 T_{FA} + T_{F-F} + 4 T_{MUX}) \right] \right\}$ .

Отже, затримка ініціалізації для методу є  $I_{[7]} = 64 \times 96 T_{FA} = 6144 T_{FA}$ , пропонується метод –  $I_{NEW} = (3 \times 99 + 64 \times 2 \times 4,64) T_{FA} = 891 T_{FA}$ . Етап ініціалізації запропонованого методу приблизно в сім разів швидше, оскільки кількість операцій CORDIC зменшується. Посилаючись на етапи, див. рис. 3.1, загальна затримка [7] – це  $I_{[7]} + 642 \times 96 T_{CORDIC-[7]} = 399360 T_{FA}$ . Запропонований метод загальна затримка задана  $I_{NEW} + [(642 - 1) \times 4,64 + 2 \times 99] T_{FA} = 19199 T_{FA}$ .

Оцінки затримки враховують конвеєрну обробку двох методів. Для методу в [7], обчислення CORDIC в етапі А проводяться паралельно з додаванням на стадії В (рис. 3.1). Затримка CORDIC на етапі А є більш трудомісткою, ніж затримка додавання на етапі В. Отже, пропускну здатність конвеєрного впровадження в [7] регулюється затримкою CORDIC, і це використовується для оцінки затримки. Аналогічно, для запропонованого способу додавання з 25-бітовими операндами для генерування зміщень проводиться паралельно з додаванням зміщень та обертових центрів з використанням 10-бітних операндів. Тому попередня затримка враховується в оцінках ефективності.

У таблиці 3.1 узагальнені результати діяльності, і очевидно, що загальна швидкість приблизно у двадцять більша, ніж запропоновано в [7].

### 3.7.3. Порівняння об'єму

Об'єм алгоритму CORDIC, що використовується в [7], який має три 20-бітні суматори та 20-бітні регістри (для кожного X, Y і Z), пару 20-бітних широкоформатна пам'яті, за оцінками, буде  $(642 - (20 \times 3 \times (2 A_{FA} - A_{F-F})) + (20 \times 2 \times 4 \times 2 A_{MUX}) + (20 \times 12 A_{F-F}))$  відповідають області 1-бітного повного суматора, тригера та 2 – 1 MUX відповідно. За оцінками, 1-бітна CLA займає вдвічі більше об'єму 1-бітного послідовного суматора. Передбачається, що пам'ять реалізована у вигляді тригерів, а для CORDIC 12 ітерацій зберігається 12 значень  $\arctan$ . Для цього потрібно об'єм  $20 \times 12 A_{F-F}$ . Можна також зробити висновок, що  $A_{F-F} \approx 1,13 A_{FA}$  [16]. Отже, алгоритм CORDIC в [7], за



оцінками, займає близько  $534 A_{FA}$ . Аналогічно, об'єм алгоритму CORDIC, що використовується у запропонованому методі, становить приблизно  $668 A_{FA}$ .

Архітектура в [7] насамперед включає алгоритм CORDIC і 642 пари місцевих суматорів. У запропонованому способі є алгоритм CORDIC, пара модулів-суматорів для генерації обертаючих центрів та зміщень та 642 набори локальних суматорів. Орієнтовна потреба в пам'яті для зберігання повернутих центрів становить приблизно  $64 \times 10 A_{F-F} \approx 732 A_{FA}$ . Усі локальні суматори в обох методах реалізуються як 10-бітні CLA. Якщо припустити, що з них 64 пари (по одній по координатах  $x$  і  $y$  кожного центру), площа оцінюється в  $64 \times 10 \times 2 \times 2 A_{FA}$ . Блок збору для генерування зміщень у запропонованій методиці включає 25-бітні CLA (об'єм  $= 100 A_{FA}$ ).

Оцінки об'ємів також узагальнені в Таблиці 3.1. Видно, що об'єми двох архітектур можна порівняти з запропонованим методом, показуючи граничне збільшення приблизно на 3%.

### 3.8. Розширення на зображення з більшою роздільною здатністю

У цьому розділі вводиться новий параметр під назвою ієрархія (або  $h$ ), який дозволяє нам вивчати запропонований метод у широкому діапазоні заходів, що впливають на об'єм та час. Аналіз на високому рівні робиться для отримання виразів затримки та об'єму алгоритмів обертання з точки зору  $h$ , які допомогли б зробити усвідомлений вибір ієрархії. Після цього проводиться порівняльне дослідження з еталонною моделлю, зберігаючи фокус на зображеннях високої роздільної здатності.

#### 3.8.1. Вибір ієрархії

Параметр  $h$  позначає кількість шарів, на які зображення розбивається до нанесення запропонованих методів. Крайні випадки –  $h = 0$  та  $h = \log_2 m$ , де  $m$  позначає довжину квадратного зображення.

а)  $h = 0$  : Без ієрархії фаза ініціалізації виключається, оскільки центр зображення є єдиним центром, який необхідно обертати (щодо себе, отже, надмірним), і все зображення стає вікном для генерації зміщення. Використовуючи запропонований механізм, обчислення будуть лише доповненнями з 2 операціями CORDIC. Одне з головних обмежень цього налаштування – це те, що воно не може бути паралельним, оскільки пікселі потрібно подавати в послідовному порядку (див. рис. 3.4). Крім того, більші розміри вікон призводять до більшої помилки кількісного значення.

б) Максимально можливий  $h = \log_2 m$  : З максимальною ієрархією кожен піксель стає центром, і це означає, що все обчислення робиться на етапі ініціалізації. Етапи А та В тепер стають зайвими.

Вибір цього параметра впливає на затримку ініціалізації та генерацію зміщення. Наприклад, нижчий рівень ієрархії призведе до збільшення розмірів вікон, і це збільшує затримку обчислення зміщення. Альтернативно, більш високі рівні ієрархії призводять до збільшення кількості центрів шарів для отримання повернутих положень центрів у фазі ініціалізації. Очевидно, що оптимальна ієрархія лежить десь між цими двома крайнощами.

Для отримання оптимального вибору ієрархії, заданого зображення розміром  $m \times m$ , спочатку представляємо загальну оцінку затримки обертання за кількістю сумувань для різних ієрархій. Для отримання цих показників спочатку перераховується кількість обчислень CORDIC та додавання, що сприяють затримці алгоритму. Тоді затримка CORDIC оцінюється в  $k$  рази, ніж операція додавання.

Виведення  $k$ : Для отримання  $k$  ми приймаємо вимогу точності 1-піксель обертального положення після укорочення, оскільки відображення проводиться на один піксель і не виконується інтерполяція. Для цього достатньо ітерацій  $\log_2$  в рамках операції CORDIC, кожна з яких в основному складається з однієї операції додавання однієї зміни, крім затримок реєстру. Якщо припустити, що перемикачі використовуються для зміщення, реалізованого як мультиплексори, і отримавши відносну затримку  $2 - 1 \text{ MUX}$  по відношенню до 1-бітного повного суматора, ми можемо

оцінити затримку алгоритму CORDIC у  $1,6 \log_2 m$  разів більше операції додавання. Для отримання цього значення ми також припускаємо, що розмір регістрів, що використовуються для додавання, становить  $n + \log_2 n$ , де  $n$  – кількість ітерацій.

У таблиці 3.2 показано вираз для затримки обертання (у кількості додавань) для запропонованого способу з точки зору ієрархії  $h$  та розміру зображення  $m \times m$ . Він також показує затримку для методу в [7] з фіксованим розміром вікна  $a$ .

Таблиця 3.2

Вираз затримки як функція ієрархії

	Метод згідно [7]		Пропонований метод	
	CORDIC	Додавання	CORDIC	Додавання
Ініціалізація	$(m/a)^2$	-	$h+2$	$4^h(h-1)$
Мах Етап А, Етап В	$a^2$	-	-	$(m/2^h)^2$
Загальна затримка (кількість додавань)	$\left[ (m/a)^2 + a^2 j \right] k$		$h+2 + 4^h(h-1) + (m/2^h)^2$	

Графік затримки (за кількістю додавань) у логарифмічному масштабі, побудованому проти різних ієрархій див. рис. 3.8.

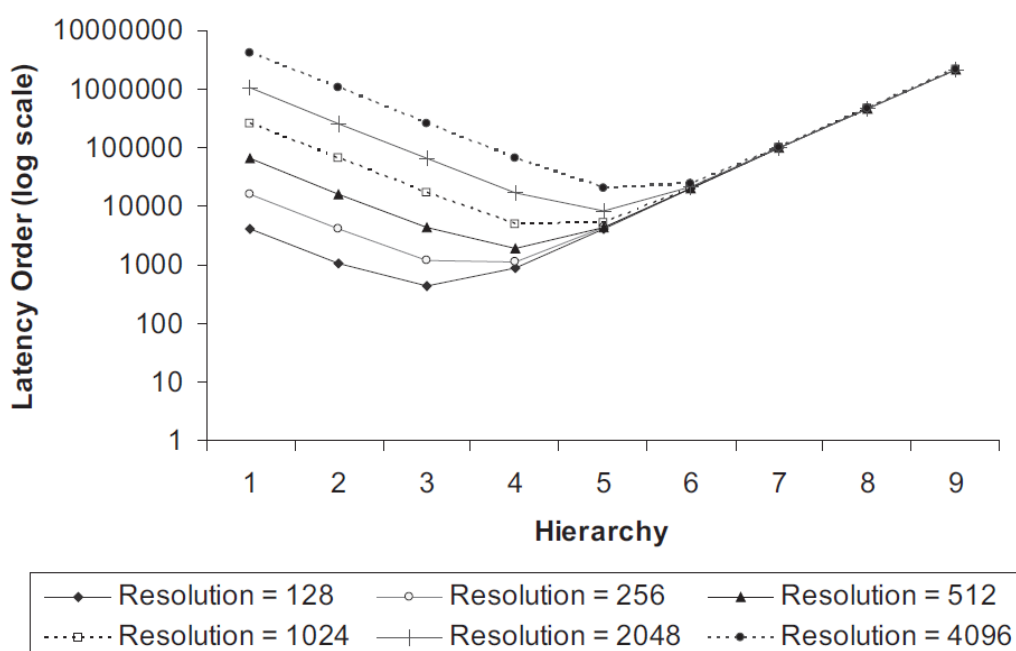


Рисунок 3.8. Вибір ієрархії

Це ілюструє, що крайні ієрархії не призводять до найбільш ефективної реалізації часу. У таблиці 3.3 показана оптимальна ієрархія для зображень різної роздільної здатності зображення. Це відповідає ієрархії з мінімальною затримкою для різних розрізень на рис. 3.8.

### 3.8.2. Порівняння оцінки затримки

“Підсилення” визначається як відношення затримки методу у [7] до оптимальної затримки запропонованого методу. Затримки вимірювання отримують, посилаючись на таблицю 3.3. Графік підсилення, побудований на основі різної роздільної здатності зображення див. рис. 3.9. Можна помітити, що для всіх варіантів є певний виграш. Коефіцієнт підсилення стає більш вираженим для зображень більш високої роздільної здатності, оскільки він збільшується в експоненціальному режимі.

Таблиця 3.3

#### Оптимальна ієрархія для обертання зображення $m \times m$

Роздільна здатність зображення, м	Оптимальна ієрархія
128	3
256	4
512	4
1024	4
2048	5
4096	5
8192	6
16384	6
32768	7
65526	7
131072	8

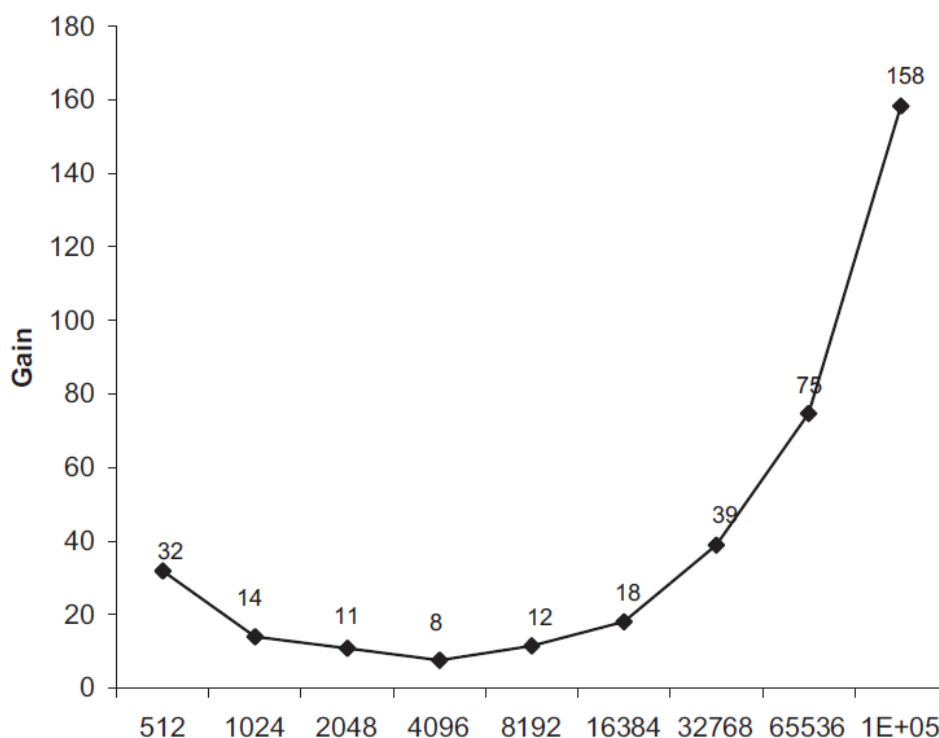


Рисунок 3.9. Приріст запропонованого методу над існуючим методом

Варто зазначити, що на етапі ініціалізації додавання для отримання центрів обертання вважаються послідовними. Для подальшого збільшення коефіцієнта підсилення місцеві суматори можуть бути використані на етапі ініціалізації для паралельного виконання додавань для отримання обертових центрів. Також запропонована система може використовувати вдосконалені впровадження CORDIC для подальшого збільшення підвищення продуктивності. Однак, оскільки більшість операцій у запропонованій системі складаються з додавань, покращення CORDIC не призведе до помітного підвищення продуктивності.

### 3.8.3. Вплив зміни ієрархії на об'єм

Зона пам'яті для зберігання центрів на етапі ініціалізації збільшується із кількістю ієрархій. Крім того, оскільки запропонована архітектура вимагає, щоб кожен центр мав локальний суматор для додавання зміщення на стадії В (рис. 3.1), об'єм додавань також зростає пропорційно. Кількість таких суматорів становить  $(m/a)^2$  та  $(m/2^h)^2$  для методу в [7] та запропонованого методу, відповідно, те саме, що кількість елементів пам'яті для зберігання центрів. Обробляючи об-

ласть одного елемента пам'яті разом з його локальним суматором разом як одиницю  $\alpha$  а, ми побудуємо ділянку в  $\alpha$  для обох методів на рис. 3.10. Для запропонованого способу розглядається область, відповідна конфігурації, що забезпечує оптимальну продуктивність. Обидва методи використовують один двигун CORDIC кожен, і ця область є незначною порівняно із загальною площею, що споживається пам'яттю та локальними суматорами.

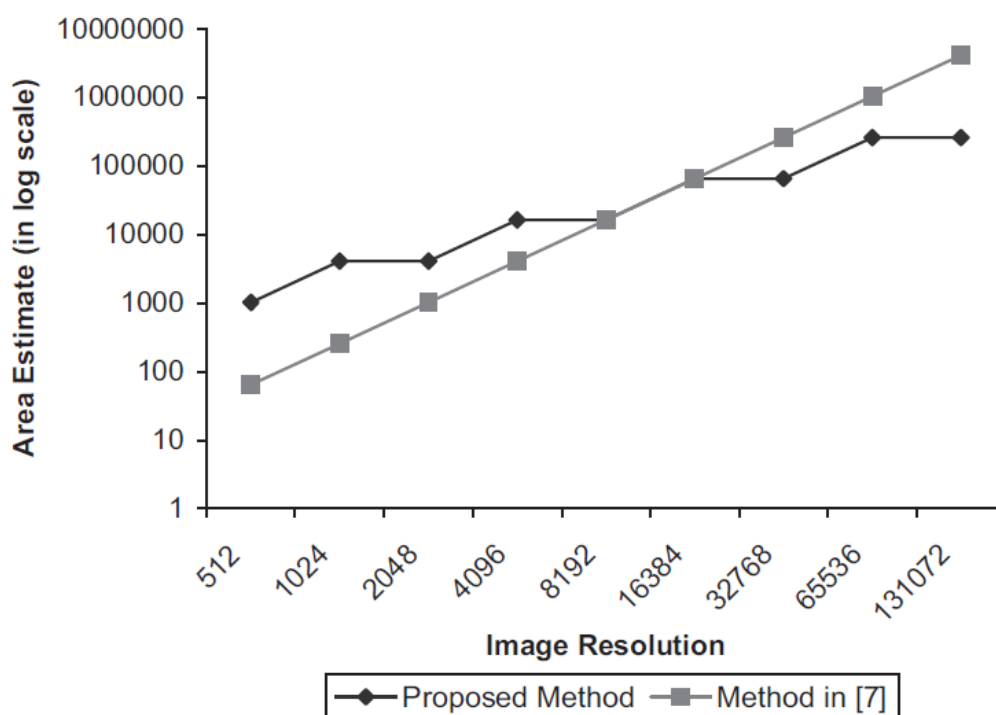


Рисунок 3.10. Оцінки об'єму для різної роздільної здатності зображення

Як можна помітити на рис. 3.10, запропонований метод є більш сприятливим щодо об'єму та затримки для високої роздільної здатності зображення. Примітно, що цей графік враховує оптимальну ієрархію  $i$ , отже, області виглядають непривабливими для нижчих роздільних можливостей. Для рішень, що залежать від витрат, може бути обрана інша ієрархія, яка призводить до менш оптимального рішення, щоб задовольнити обмеження об'єму і в той же час забезпечити значне збільшення продуктивності. Наприклад, метод обертання, описаний у розділі 3.5, на 20 швидший, майже не збільшуючи об'єм. Подальше зменшення об'єму можна досягти, використовуючи для обчислень менший набір суматорів.

### 3.9. Висновки до розділу 3

Обертання зображення в режимі реального часу є важливою операцією в багатьох областях застосування, таких як обробка зображень, медицина, комп'ютерна графіка та розпізнавання образів. Існуючі архітектури, які покладаються на обчислення CORDIC для тригонометричних операцій, спричиняють серйозні вузькі місця у додатках з високою пропускнуою здатністю, особливо там, де задіяні зображення високої роздільної здатності. Представлений новий ієрархічний метод, що використовує симетричні характеристики зображення для прискорення обертання зображень з високою роздільною здатністю. Дослідження, засновані на зображенні  $512 \times 512$ , показують, що запропонований метод дає прискорення на 20 у порівнянні з існуючими методами лише на 3%. Крім того, було оцінено вплив ієрархії на ефективність обчислень, щоб забезпечити гнучкість об'єму та часу. Запропонована методика є масштабованою і значні покращення продуктивності очевидні для зображень із дуже високою роздільною здатністю.

Запропоновано новий метод, щоб значно зменшити кількість операцій CORDIC для прискорення процесу обертання зображення. Запропоновано ієрархічний метод для кращого управління необхідною кількістю додавань та операцій CORDIC, забезпечуючи тим самим гнучкість в області часу в апаратній реалізації. Продемонстровано, що такий підхід передбачає значне прискорення та прийнятне збільшення витрат на об'єм порівняно з існуючими методами. Проаналізовано вплив ієрархії на ефективність обчислень, щоб визначити оптимальну ієрархію для заданої роздільної здатності зображення. У випадку із зображенням  $512 \times 512$  ієрархія чотирьох виявилася оптимальною, хоча максимально можлива ієрархія – дев'ять. Збільшення ширини даних для розміщення загальної кількості додавань призводить до незначного збільшення загальних витрат на обладнання. Запропонована методика є масштабованою і добре надає велике обертання зображень високої роздільної здатності.

## РОЗДІЛ 4

### СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 4.1. Програмне середовище математичного моделювання MATLAB

MATLAB – пакет прикладних програм для числового аналізу, а також мова програмування, що використовується в даному пакеті. Система створена компанією The MathWorks і є зручним засобом для роботи з математичними матрицями, малювання функцій, роботи з алгоритмами, створення робочих оболонок (user interfaces) з програмами в інших мовах програмування. Хоча цей продукт спеціалізується на чисельному обчисленні, спеціальні інструментальні засоби працюють з програмним забезпеченням Maple, що робить його повноцінною системою для роботи з алгеброю.

MATLAB надає користувачеві велику кількість функцій для аналізу даних, які покривають майже всі області математики, зокрема:

- матриці та лінійна алгебра – алгебра матриць, лінійні рівняння, власні значення і вектори, сингулярності, факторизація матриць та інше;
- многочлени та інтерполяція – корені многочленів, операції над многочленами та їх диференціювання, інтерполяція та екстраполяція кривих;
- математична статистика та аналіз даних – статистичні функції, статистична регресія, цифрова фільтрація, швидке перетворення Фур'є та інші;
- обробка даних – набір спеціальних функцій, включаючи побудову графіків, оптимізацію, пошук нулів, чисельне інтегрування та інше;
- диференціальні рівняння – вирішення диференціальних і диференційно-алгебраїчних рівнянь, диференціальних рівнянь із запізнюванням, рівнянь з обмеженнями, рівнянь в часткових похідних та інше;
- розріджені матриці – спеціальний клас даних пакету MATLAB, що використовується у спеціалізованих додатках;
- цілочисельна арифметика – виконання операцій цілочисельної арифметики в середовищі MATLAB.



MATLAB отримав назву від “Matrix Laboratory” яка була заснована у пізніх 1970-х Клівом Молером, який пізніше став керівником департаменту обчислювальних наук університету Нью-Мексико. Він розробив його, щоби надати своїм студентам доступ до пакетів LINPACK та EISPACK без необхідності опановувати Фортран. MATLAB став дуже скоро популярним в інших університетах і привернув особливу увагу прикладних математиків. Інженер Джон Літтл закохався у цей продукт, коли відвідав Молера у Станфордському університеті у 1983-му році. Прогнозуючи комерційний успіх MATLAB він приєднався до Молера і Стіва Бангерта. Вони переписали MATLAB на Сі заснували компанію The MathWorks у 1984-му році. Переписані бібліотеки стали відомими як JACSPAC. Поза визнанням викладачів лінійної алгебри та числового аналізу MATLAB визнали де-факто спеціалісти по роботі з цифровими зображеннями (напр. томографія).

MATLAB підтримує створення застосунків з властивостями графічних інтерфейсів користувача. MATLAB включає GUIDE (GUI development environment – середовище розробки) для графічного проектування графічних інтерфейсів користувача. Код:

```
x = 0:pi/100:2*pi;  
y = sin(x);  
plot(x,y)
```

дає наступний результат рис. 4.1.

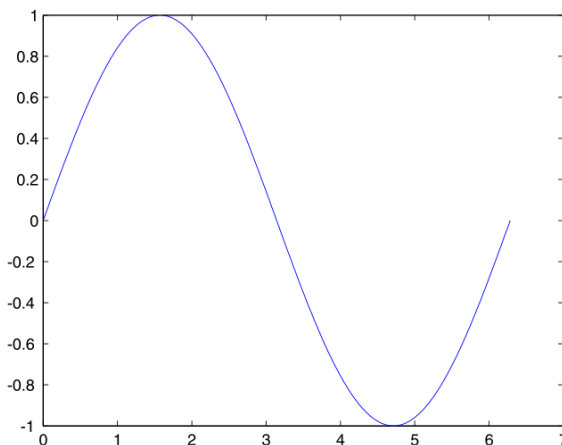


Рисунок 4.1. Графік функції  $\sin(x)$  в MATLAB

Програми на MATLAB можуть також будувати тривимірні графіки з допомогою функцій surf, plot3 чи mesh.

```
[X,Y] = meshgrid(-10:0.25:10,-10:0.25:10);
f = sinc(sqrt((X/pi).^2+(Y/pi).^2));
mesh(X,Y,f);
axis([-10 10 -10 10 -0.3 1])
xlabel('\bfx')
ylabel('\bfy')
zlabel('\bfsinc} ({\bfR})')
hidden off
```

Цей код створює каркасну модель в 3D двовимірної ненормованої функції sinc рис. 4.2.

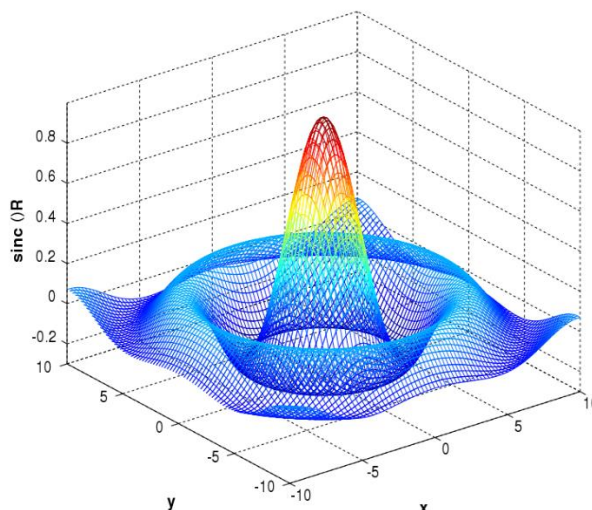


Рисунок 4.2. Графік каркасної моделі в 3D двовимірної ненормованої функції sinc

Робоче середовище MatLab 6.x містить наступні елементи:

- панель інструментів з кнопками і списком;
- вікно з вкладками Launch Pad і Workspace, з якого можна отримати доступ до різних модулів Toolbox і до вмісту робочого середовища;
- вікно з вкладками Command History і Current Directory, призначене для перегляду і повторного виклику раніше введених команд, а також для установки поточного каталогу;

- командне вікно, в якому знаходиться запрошення до вводу »і миготливий вертикальний курсор;
- рядок стану.

Якщо в робочому середовищі Mat Lab 6.x відсутні деякі вікна, наведені на малюнку, то слід в меню View вибрати відповідні пункти: Command Window, Command History, Current Directory, Workspace, Launch Pad.

Команди необхідно набирати в командному вікні. Символ », що позначає запрошення до введення командного рядка, набирати не потрібно. Для перегляду робочої області зручно використовувати смуги скролінгу або клавіші Home, End, для переміщення вліво або вправо, і Page Up, Page Down для переміщення вгору або вниз. Якщо раптом після переміщення по робочій області командного вікна пропала командний рядок з миготливим курсором, просто натисніть Enter.

Робоче середовище зображено на рисунку 4.3.

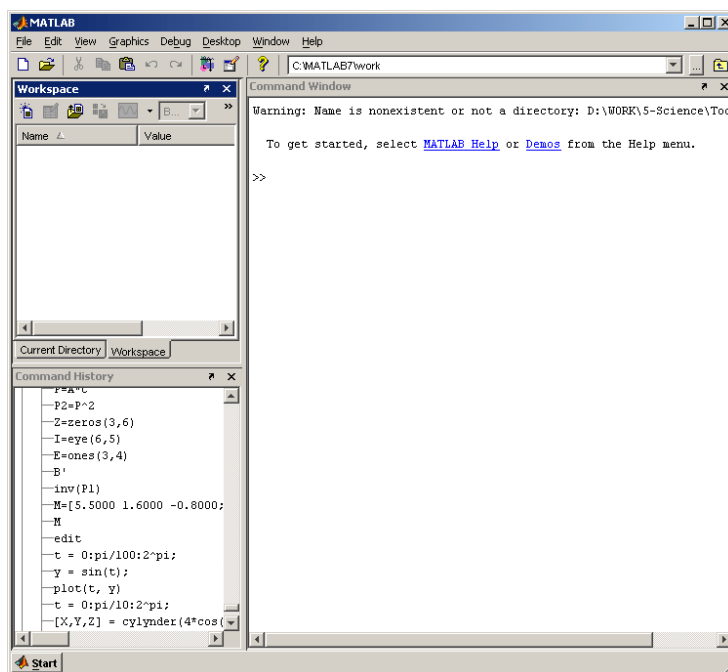


Рисунок 4.3. Робоче середовище Mat Lab

Важливо пам'ятати, що набір будь-якої команди або виразу повинен закінчуватися натисканням на Enter, для того, щоб програма Mat Lab виконала цю команду або вирахувала вираз.


## 4.2. Середовище Simulink

Simulink – інтерактивний інструмент (Програмне забезпечення) для моделювання, імітації та аналізу динамічних систем, включаючи дискретні, неперервні та гібридні, нелінійні та розривні системи. Розроблене компанією The MathWorks. Дає можливість будувати графічні блок-діаграми, імітувати динамічні системи, досліджувати працездатність систем і вдосконалювати проекти. Simulink повністю інтегрований з MATLAB, що забезпечує швидкий доступ до широкого спектру інструментів аналізу і проектування. Simulink також інтегрується з Stateflow для моделювання поведінки, викликані подіями. Ця перевага робить Simulink найпопулярнішим інструментом для проектування систем керування і комутації, цифрової обробки і інших додатків моделювання.

Додаткові пакети розширення Simulink дозволяють вирішувати весь спектр завдань від розробки концепції моделі до тестування, перевірки, генерації коду і апаратної реалізації. Simulink інтегрований в середовище MATLAB, що дозволять використовувати вбудовані математичні алгоритми, потужні засоби обробки даних і наукову графіком.

Для запуску програми необхідно попередньо запустити пакет MATLAB. Основне вікно пакета MATLAB показано на Рис. 4.4. Там же показана підказка з'являється у вікні при наведенні покажчика миші на ярлик Simulink в панелі інструментів.

Після відкриття основного вікна програми MATLAB потрібно запустити програму Simulink. Це можна зробити одним з трьох способів:

Натиснути кнопку  (Simulink) на панелі інструментів командного вікна MATLAB.

У командному рядку головного вікна MATLAB надрукувати Simulink і натиснути клавішу Enter на клавіатурі.

Виконати команду Open ... в меню File і відкрити файл моделі (mdl-файл).

Останній варіант зручно використовувати для запуску вже готової і налагодженої моделі, коли потрібно лише провести розрахунки і не потрібно додавати

нові блоки в модель. Використання першого і другого способів призводить до відкриття вікна оглядача розділів бібліотеки Simulink (рис. 4.2)

Тема, з назвою вікна – Simulink Library Browser.

Меню, з командами File, Edit, View, Help.

Панель інструментів, з ярликами найбільш часто використовуваних команд.

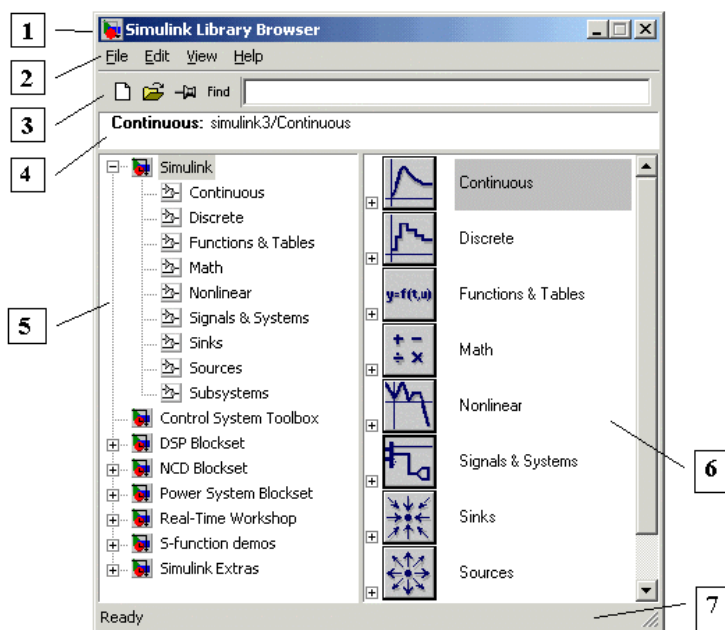


Рисунок 4.4. Вікно оглядача розділів бібліотеки Simulink

Вікно коментаря для виведення пояснюючого повідомлення про обраний блок.

Список розділів бібліотеки, реалізований у вигляді дерева.

Вікно вмісту розділу бібліотеки (список вкладених розділів бібліотеки або блоків).

Рядок стану, що містить підказку по виконуваного дії.

На рис. 4.4 виділена основна бібліотека Simulink (в лівій частині вікна) і показані її розділи (в правій частині вікна).

Бібліотека Simulink містить наступні основні розділи:

Continuous – лінійні блоки.

Discrete – дискретні блоки.

Functions & Tables – функції і таблиці.

Math – блоки математичних операцій.

Nonlinear – нелінійні блоки.

Signals & Systems – сигнали і системи.

Sinks – самописці.

Sources – джерела сигналів і впливів.

Subsystems – блоки підсистем.

Список розділів бібліотеки Simulink представлений у вигляді дерева, і правила роботи з ним є загальними для списків такого виду:

Піктограма згорнутого вузла дерева містить символ “+”, а піктограма розгорнутого містить символ “-”.

Для того щоб розгорнути або згорнути вузол дерева, досить клацнути на його піктограмі лівою клавішею миші (ЛКМ).

При виборі відповідного розділу бібліотеки в правій частині вікна відображається його вміст (Рис. 4.5).

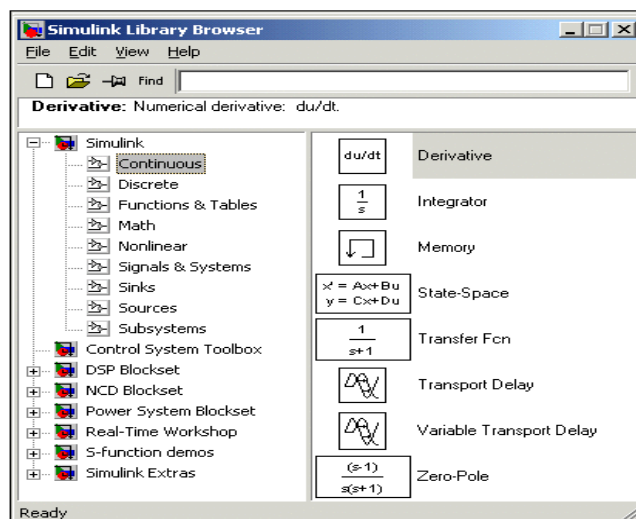


Рисунок 4.5. Вікно з набором блоків розділу бібліотеки

Для роботи з вікном використовуються команди зібрані в меню. Меню оглядача бібліотек містить наступні пункти:

File (Файл) – Робота з файлами бібліотек.

Edit (Редагування) – Додавання блоків і їх пошук (за назвою).

View (Вид) – Управління показом елементів інтерфейсу.

Help (Довідка) – Висновок вікна довідки по оглядачеві бібліотек.

Створення нової S–моделі (відкрити нове вікно моделі).

Відкрити одну з існуючих S–моделей.

Змінити властивості вікна оглядача. Дана кнопка дозволяє встановити режим відображення вікна оглядача “поверх всіх вікон”. Повторне натискання скасовує такий режим.

Пошук блоку за назвою (по перших символах назви). Після того як блок буде знайдений, у вікні оглядача відкриється відповідний розділ бібліотеки, а блок буде виділено. Якщо ж блок з такою назвою відсутній, то у вікні коментаря буде виведено повідомлення Not found <ім'я блоку> (Блок не знайдене).

Створити новий файл моделі за допомогою команди File / New / Model, або використовуючи кнопку на панелі інструментів (тут і далі, за допомогою символу “/”, вказані пункти меню програми, які необхідно послідовно вибрати для виконання зазначеного дії). Новостворене вікно моделі показано на Рис. 4.5.

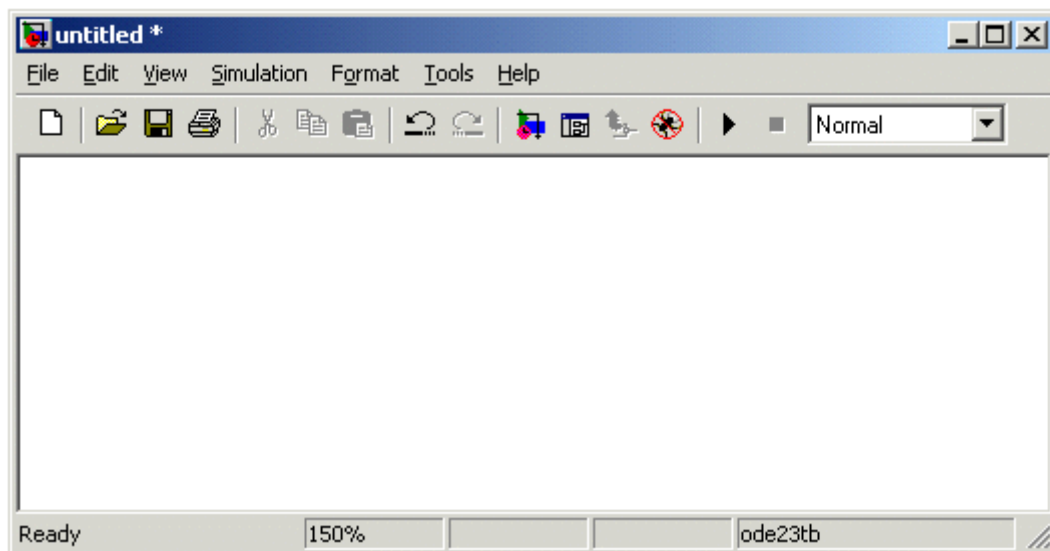


Рисунок 4.6. Пусте вікно моделі

Розташувати блоки у вікні моделі. Для цього необхідно відкрити відповідний розділ бібліотеки (Наприклад, Sources – Джерела). Далі, вказавши курсором на необхідний блок і натиснувши на ліву клавішу “миші” – “перетягнути” блок у створене вікно. Клавішу миші потрібно тримати натиснутою. На Рис 4.7 показано вікно моделі, що містить блоки.

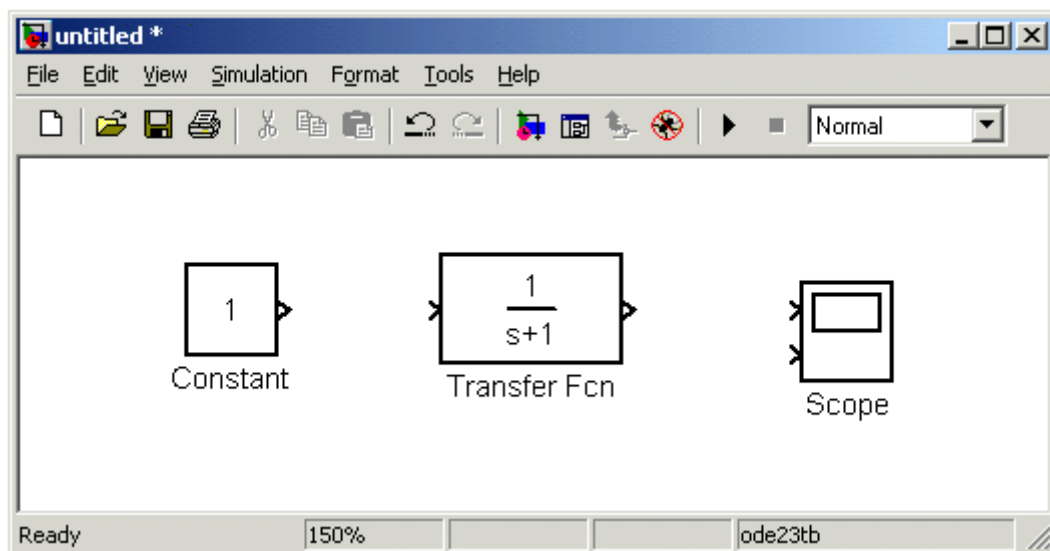


Рисунок 4.7. Вікно моделі, що містить блоки

Для видалення блоку необхідно вибрати блок (вказати курсором на його зображення і натиснути ліву клавішу “миші”), а потім натиснути клавішу Delete на клавіатурі.

Для зміни розмірів блоку потрібно вибрати блок, встановити курсор в один з кутів блоку і, натиснувши ліву клавішу “миші”, змінити розмір блоку (курсор при цьому перетвориться в двосторонню стрілку).

Далі, якщо це потрібно, потрібно змінити параметри блоку, встановлені програмою “за замовчуванням”. Для цього необхідно двічі клацнути лівою клавішею “миші”, вказавши курсором на зображення блоку. Відкриється вікно редагування параметрів даного блоку. При завданні численних параметрів необхідно мати на увазі, що в якості десяткового роздільника повинна використовуватися крапка, а не кома. Після внесення змін потрібно закрити вікно кнопкою ОК. На рис.4.8 як приклад показані блок, що моделює передавальну функцію і вікно редагування параметрів даного блоку.



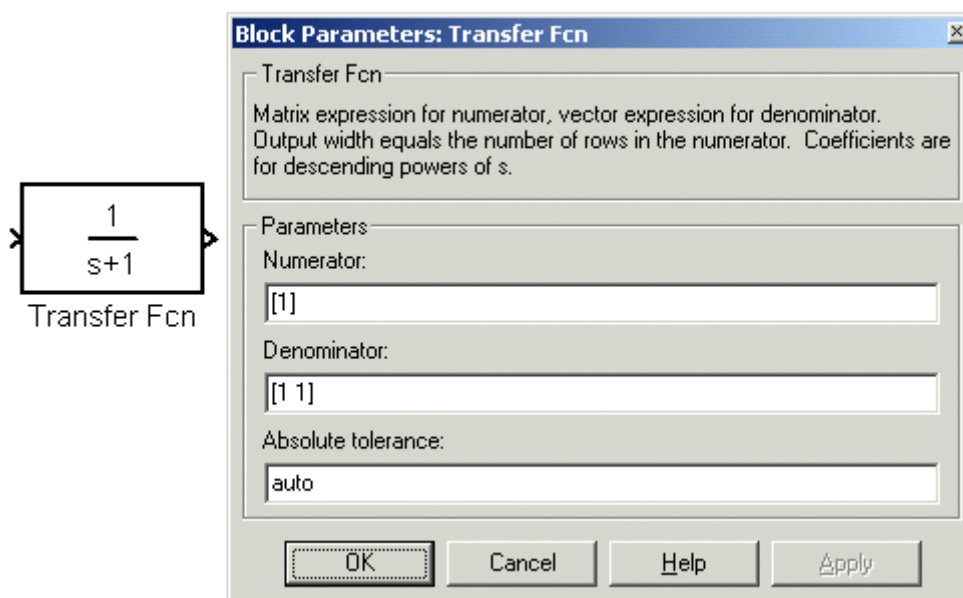


Рисунок 4.8. Блок, що моделює передавальну функцію і вікно редагування параметрів блоку

Після встановлення на схемі всіх блоків з необхідних бібліотек потрібно виконати з'єднання елементів схеми. Для з'єднання блоків необхідно вказати курсором на “вихід” блоку, а потім, натиснути і, не відпускаючи ліву клавішу “миші”, провести лінію до входу іншого блоку. Після чого відпустити кнопку. У разі правильного з'єднання зображення стрілки на вході блоку змінює колір. Для створення точки розгалуження в сполучній лінії потрібно підвести курсор до передбачуваного вузла і, натиснувши праву клавішу “миші”, протягнути лінію. Для видалення лінії потрібно вибрати лінію (так само, як це виконується для блоку), а потім натиснути клавішу Delete на клавіатурі. Схема моделі, в якій виконані з'єднання між блоками, показана на Рис. 4.8.

**Висновки.** В процесі наукової роботи в середовищі MATLAB промодельовано та досліджено наступні параметри:

- запропонований метод та алгоритм перетворення рядкової розгортки в кругову.

## РОЗДІЛ 5 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Встановлення економічної ефективності проведення науково–дослідної роботи є основною метою виконання розділу обґрунтування економічної ефективності дипломної роботи магістра.

### 5.1. Розрахунок норм часу на виконання науково–дослідної роботи

Основні етапи виконання НДР та витрати часу на їх виконання представлено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

#### Основні етапи виконання НДР

№ та назва етапу	Середній час виконання, год.
визначення актуальності теми ДР магістра	50
розробка першого розділу магістерської роботи	100
розробка другого розділу магістерської роботи	100
розробка третього розділу магістерської роботи	95
розробка спеціальної частини магістерської роботи	20
обґрунтування економічної ефективності	20
охорона праці та безпека життєдіяльності	10
екологія	5
загальні висновки магістерської роботи	8
Разом	408

Витрати часу керівника на виконання окремих стадій (етапів) при недостатній кількості інформації доцільно приймати в межах 5% сумарних витрат часу інженерів на виконання цих стадій (етапів).

## 5.2. Розрахунок витрат на проведення НДР

Розрахунок поточних витрат на проведення НДР проводять в розрізі таких калькуляційних статей:

- основна заробітна плата (з/п);
- додаткова (з/п);
- нарахування на (з/п);
- консультаційні витрати;
- матеріали для виконання робіт по НДР ;
- експериментально–виробничі витрати;
- загальновиробничі витрати;
- адміністративні витрати;
- поза виробничі витрати.

При системному розв'язанні питання про облік праці і заробітної плати велике значення має умовно–постійна (нормативна, довідкова та інша) інформація, яка в даному разі характеризує переважно постійних виконавців (людей і механізми) та постійні процеси (технологічні операції). Тому у першу чергу зміст по обліку праці і заробітної плати неодмінно повинна входити інформація про виконавців (облік складу працівників).

Основна з/п складається із прямої з/п і доплати, яка при укрупнених розрахунках становить 25% – 35% від прямої з/п. При розрахунку з/п кількість робочих днів в місяці необхідно приймати — 25,4 дні/міс., що відповідає 203,2 год./міс. Прийmemo розмір місячного окладу інженера розряд 13 тарифна ставка 4000 грн.

Пряма з/п визначається [48]:

$$ЗП = O_i \times T_i / 203,2, \quad (5.1)$$

де  $O_i$  – розмір місячних окладів  $i$ -х категорій працівників;

$T_i$  – трудомісткість робіт виконаних працівниками  $i$ -х категорій.

Для інженера:  $ЗП = 4000 \times 408 / 203,2 = 8031,50$  грн.

Величина доплат обраховується за формулою:

$$ЗП_1 = ЗП \times K_i, \quad (5.2)$$

де  $K_i$  – коефіцієнт доплат (0,25 – 0,35).

Вибираємо коефіцієнт 0,3:

Для інженера:  $ЗП_1 = 8031,50 \times 0,3 = 2409,45$  грн.

Основна з/п обчислюється за формулою:

$$ЗП_0 = ЗП + ЗП_1, \quad (5.3)$$

Для інженера:  $ЗП_0 = 8031,50 + 2409,45 = 10441,00$  грн.

Величина додаткової з/п обчислюється за формулою [48]:

$$ЗП_д = ЗП_0 \times K_д \quad (5.4)$$

де  $K_д$  – коефіцієнт додаткової з/п (0,05 – 0,1).

Нехай коефіцієнт додаткової  $K_д = 0,1$ .

Для інженера додаткова плата:  $ЗП_д = 10441 \times 0,1 = 1044,10$  грн.

Витрати, на проведення НДР, крім річного фонду заробітної плати, включають ще й соціальні нарахування. Всього норматив нарахувань на заробітну плату становить 37% .

Загальний норматив нарахувань на заробітну плату згідно формули [48]:

$$ЗП_н = (ЗП_0 + ЗП_д) \times K_н, \quad (5.5)$$

де  $ЗП_0$  – величина основної заробітної плати;

$ЗП_д$  – величина додаткової заробітної плати;

$K_н$  – загальний відсоток нарахувань на заробітну плату.

Для інженера загальний норматив нарахувань становить:

$$ЗП_H = (10441 + 1044,10) \times 0,37 = 4249,50 \text{ грн.}$$

Для розрахунку витрат на консультації, врахуємо, що консультації були надані в обсязі 2 год., вартість їх 400 грн.

Витрати на матеріали розраховуються на основі норм їх витрат і відповідних оптових цін [48]:

Таблиця 5.2

Зведена відомість витрат на заробітну плату, грн.

№ з/п	Категорія працівників	Основна заробітна плата			Додаткова заробітна плата	Нарахування на заробітну	Всього витрати на заробітну плату
		Пряма заробітна	Доплати	Всього:			
1	Інженер	10441	2409,45	12850,45	1044,1	4249,50	18144,05

$$M_3 = \sum_{i=1}^n H_{mi} * C_{oi} \quad M_3 = \sum_{i=1}^n H_{Mi} \times C_{oi}, \quad (5.6)$$

де  $M_3$  – затрати на матеріали;

$H_{Mi}$  – норма затрат і-их матеріалів;

$C_{oi}$  – оптова ціна за одиницю витрат і-их матеріалів;

Таблиця 5.3

Визначення величини матеріальних витрат

Найменування матеріальних ресурсів	Одиниця виміру	Норма витрат	Ціна за одиницю, грн	Затрати матеріалів, грн	Транспортно-заготівельні витрати, грн.	Загальна сума витрат на матеріали, грн.
1 Основні матеріали						
Ручка	шт.	2	10	20	2,00	22,00
Олівець	шт.	2	5	10	1,00	11,00
Гумка	шт.	1	5	5	5,50	5,50
Флешка	шт.	1	5	50	55,00	55,00
Разом						93,50

Експериментально–виробничі витрати визначаються як витрати на машинний час для виконання необхідного об'єму робіт виходячи з його вартості за одиницю часу, тобто [48]:

$$Z_{E.B.} = V_p \times T, \quad (5.7)$$

де  $Z_{E.B.}$  – затрати експериментально–виробничі;

$V_p$  – витрати на користування ПК та послуги інтернет;

$T$  – час роботи ПК.

Вартість роботи на ПЕОМ і користування мережею Інтернет встановлюємо виходячи з реальних даних (6 грн./год.). Оскільки, інтернет та ПК використовувався на стадіях 4–7, то експериментально–виробничі затрати становлять:

$$Z_{E.B.} = (60 + 94 + 60 + 28) \times 6 = 1452,00 \text{ грн.}$$

Загальновиробничі витрати при укрупнених розрахунках приймаємо на рівні 70% – 90% від суми основної і додаткової з/п інженерів, яка була нарахована за роботу при проведенні НДР, тобто [48]:

$$Z_{3.B.} = (Z_{П_0} + Z_{П_д}) \times K_{3.B.}, \quad (5.8)$$

де  $Z_{3.B.}$  – загально–виробничі затрати;

$Z_{П_0}$  – основна заробітна плата;

$Z_{П_д}$  – додаткова заробітна плата;

$K_{3.B.}$  – коефіцієнт загальновиробничих затрат.

В даному випадку прийmemo коефіцієнт загально–виробничих затрат на рівні 75%, тоді сума затрат становитиме:  $Z_{3.B.} = (10441 + 1044,10) \times 0,75 = 8613,80$  грн.

Аналогічно визначаються адміністративні витрати, які доцільно приймати на рівні 50% – 60% від суми основної і додаткової з/п інженерів.

$$Z_{3.A.} = (Z_{П_0} + Z_{П_д}) \times K_{3.A.}, \quad (5.9)$$

де  $Z_{з.а.}$  – адміністративні витрати;

$Z_{п.о.}$  – величина основної заробітної плати;

$Z_{п.д.}$  – величина додаткової заробітної плати;

$K_{з.а.}$  – коефіцієнт адміністративних витрат.

Коефіцієнт адміністративних витрат становить 50%, то величина адміністративних витрат буде рівна:  $Z_{з.а.} = (10441 + 1044,10) \times 0,5 = 5742,50$  грн.

Позавиробничі витрати необхідно приймати на рівні 3% – 7% від виробничої собівартості. Виробнича собівартість включає [48]:

$$V_{п.в.} = (Z_{п.о.} + Z_{п.д.} + Z_{н.} + M_{з.} + Z_{е.в.} + Z_{з.в.}) \times K_{п.в.}, \quad (5.10)$$

де  $V_{п.в.}$  – позавиробничі витрати;

$K_{п.в.}$  – коефіцієнт позавиробничих витрат.

В даному випадку  $K_{п.в.} = 5\%$ , тоді позавиробничі витрати становитимуть:

$$V_{п.в.} = (10441 + 1044,10 + 4249,50 + 93,50 + 1452,00 + 8613,80) \times 0,05 = 1294,70 \text{ грн.}$$

Розрахунок поточних витрат зводиться в таблицю 5.4:

Таблиця 5.4

Калькуляція собівартості проведення НДР

Статті витрати, грн.	Витрати, грн.	В % до загальної суми
Основна заробітна плата	10441,00	30,41
Додаткова заробітна плата	1044,10	03,04
Нарахування на заробітну плату	4249,50	12,38
Консультації	400,00	1,17
Матеріали	93,50	0,27
Експериментально-виробничі витрати	1452,00	4,23
Загальновиробничі витрати	8613,80	25,09
Разом виробнича собівартість	26293,90	76,59
Адміністративні витрати	6742,50	19,64
Позавиробничі витрати	1294,70	3,77
Повна собівартість	34331,10	100

Заключною частиною роботи є показники, які необхідні для встановлення собівартості, проведення комплексного економічного аналізу затрат праці і нарахованої заробітної плати.

### 5.3. Розрахунок ціни НДР і економічна ефективність від використання програмної системи

Ціну НДР можна визначити [48]:

$$Ц = (C_{\text{ПР}}/N + C_{\text{КОП}}) + П, \quad (5.11)$$

де  $C_{\text{ПР}}$  – собівартість НДР, грн.;

$N$  – кількість замовлень, од.;

$C_{\text{КОП}}$  – собівартість копіювання (ксерокопії, дискети, компакт-диски, поштові витрати, відрядження спеціалістів тощо), грн.;

$П$  – нормативна величина прибутку (15% – 30% від собівартості  $C_{\text{ПР}}$ ).

Кількість замовлень при проведенні НДР:  $N = 1$ , собівартість копіювання становить:  $C_{\text{КОП}} = 100$  грн. Оцінка економічної ефективності розробки НДР при створенні магістерської рівна:  $Ц = (34331,10/1 + 100) + 34331,10 \times 0,2 = 41297,30$  грн.

Економічна ефективність від використання НДР зумовлена:

- скороченням трудовитрат при виконанні певних завдань;
- скороченням машинного часу при виконанні певних завдань.

При визначенні економічної ефективності необхідно порівняти використовуваний (базовий) програмний продукт і пропонований. З допомогою відповідних розрахунків (в разі значної складності використання експертних оцінок) визначається скорочення трудовитрат і (або) машинного часу, і як наслідок – економія коштів при використанні нового програмного продукту.

Для визначення ефективності продукту розраховують чисту приведену цінність  $NVP$  і термін окупності  $T_{\text{ОК}}$  [48]:



$$NVP = \sum\{(D_t - B_t)/(1 + i)^t\}, \quad (5.12)$$

де  $D_t$  – повний дохід за рік  $t$  при використанні методу;

$B_t$  – повні витрати за рік  $t$  при використанні;

$t$  – відповідний рік проекту;

$i$  – дисконтна ставка (0,3).

Нехай повний дохід за рік при використанні – 30000 грн., а витрати на обслуговування – 10000 грн. тоді чиста приведена цінність:

$$NVP = \sum_{i=1}^2\{(30000 - 10000)/(1 + 0,3)^2\} = 27218,90 \text{ грн.}, \quad (5.13)$$

Термін окупності визначається за формулою [48]:

$$T_{OK} = C/\sum\{D_i/(1 + i)^t\}, \quad (5.14)$$

Термін окупності становить:

$$T_{OK} = 41297,30/\{30000/(1 + 0,3)^1 + 30000/(1 + 0,3)^2\} = 1,011 \text{ року.}$$

Таблиця 5.5

### Основні показники ефективності

№ п/п	Назва показника	Один, вимір.	Величина
1	Витрати часу на розробку	год.	440
2	Витрати на розробку	грн.	34331,10
3	Кількість покупців системи	од.	1,00
4	Ціна розробки	грн.	41297,30
5	Чиста приведена цінність	грн.	27218,90
6	Термін окупності витрат по НДР	рік	1,011

Отже, собівартість методу оцінювання якості систем дистанційного навчання становить 19183,59 грн., а термін окупності даного методу – 1,011 року, що дозволяє говорити про економічну доцільність та ефективність їх впровадження.

## РОЗДІЛ 6

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 6.1. Охорона праці

Оскільки, важливим чинником якості систем будь-якого класу є безпека користувачів, то необхідним є врахування та дотримання норм та правил з охорони праці і техніки безпеки при використанні комп'ютерів та інших пристроїв. Окрім цього, супровід та налаштування системи проводить спеціаліст, який також відповідає за дотримання техніки безпеки та охорони праці при використанні ПК.

Основним нормативним документом, який регламентує норми і правила експлуатації електронно-обчислювальної техніки є НПАОП 0.00–1.28–10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин». Правила встановлюють вимоги безпеки до обладнання робочих місць операторів ЕОМ. Вимоги НПАОП 0.00–1.28–10 є обов'язковими для роботодавців, операторів електронно-обчислювальних машин, операторів комп'ютерного набору, операторів комп'ютерної верстки та працівників інших професій, які у своїй роботі застосовують ЕОМ з ВДТ і ПП [14].

Згідно з [14, 15] площа, на якій розташовується одне робоче місце, облаштоване комп'ютером, повинна становити не менше як  $6.0 \text{ м}^2$ , об'ємом не менше як  $20 \text{ м}^3$ .

Робочі місця працівників, які використовують ПК, розташовуються на відстані від стін – на 1м; між собою на відстані 1,7 м, що відповідає вимогам до організації робочих місць, обладнаних комп'ютерами.

З метою запобігання нещасним випадкам та організації охорони праці на виробництві розробляються інструкції з охорони праці і техніки безпеки при використанні комп'ютерної техніки. Дія інструкції поширюється на всі структурні підрозділи даної установи.

До роботи на ПК допускаються особи, які пройшли спеціальне навчання, медичне обстеження, вступний інструктаж з охорони праці, інструктаж на робочому

місці та інструктаж з пожежної безпеки.

Згідно із розробленою інструкцією, відповідальний працівник за охорону праці і техніку безпеки при експлуатації системи підтримки процесу оцінювання якості систем дистанційного навчання, повинен дотримуватись правил внутрішнього трудового розпорядку, не допускати в робочу зону сторонніх осіб, не виконувати вказівок, які суперечать правилам охорони праці та пам'ятати про особисту відповідальність за виконання правил охорони праці та безпеку товаришів по роботі.

Для усіх працівників поставлено вимоги щодо вміння надавати першу медичну допомогу потерпілим від нещасних випадків, користування первинними засобами пожежогашіння та дотримання правил особистої гігієни.

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами, які впливають на користувачів ПК є:

- підвищений рівень шуму на робочому місці (від вентиляторів, процесорів та аудіоплат);
- можливе підвищене значення напруги в електричному колі, замикання якого може статися через тіло людини;
- підвищений рівень статичної електрики;
- підвищений рівень електромагнітного випромінення;
- підвищена напруженість електричного поля;
- прямий та відбитий від екранів блиск; несприятливий розподіл яскравості в полі зору;
- фізичні перевантаження статичної та динамічної дії;
- нервово–психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження).

При виборі кімнат для розміщення робочих місць ПК враховано ступінь відбиття світла на екранах дисплеїв, яке проходить через вікна і яке може викликати значне осліплення в тих, хто сидить перед ними, особливо влітку та в сонячні дні. Тому, ПК і оргтехніка розміщені біля стін, які не знаходяться біля вікон або навпроти них.

Оскільки, при незадовільному освітленні знижується продуктивність праці користувачів ПК, і можливі негативні впливи на здоров'я такі, як короткозорість, швидка втомленість, тому всі приміщення мед закладу, які облаштовані робочими місцями з ПК, мають природне і штучне освітлення.

Розміщення робочих місць користувачів ПК повинні відповідати ГОСТ 22269–76 «Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места». Не допускається розташування робочих місць з ПК в підвальних приміщеннях.

Робочі місця з ПК при виконанні творчої роботи, яка потребує значної розумової напруги чи великої концентрації уваги, ізольовано одне від одного перегородкою висотою 1,6 м.

Поверхня підлоги у приміщеннях повинна бути оздоблена керамічною плиткою і бути рівною та зручною для очищення та вологого прибирання.

Штучне освітлення у приміщеннях повинно бути виконано у вигляді комбінованої системи освітлення з використанням люмінесцентних джерел світла у світильниках загального освітлення, які розташовувати над робочими поверхнями у рівномірно–прямокутному порядку. Штучне освітлення забезпечує на робочих місцях з ПК освітленість 300 – 500 лк.

Для запобігання засвітленню екранів ПК прямими світловими потоками лінії світильників розташовані з достатнім бічним зміщенням відносно рядів робочих місць, а також паралельно до світлових отворів. При цьому кожне вікно повинно мати світлорозсіюючі штори з коефіцієнтом відбивання 0,7.

У приміщенні також необхідно забезпечити і природне освітлення, при цьому на кожному вікні закріплені жалюзі з вертикальними ламелями, що регулюються для зменшення прямого попадання сонячного світла на екран комп'ютерів.

Згідно [18] світлових відблисків з клавіатури, екрана та від інших частин ВДТ у напрямку очей оператора не повинно бути. Усі робочі місця з ПК повинні бути розташовані таким чином, щоб в поле зору користувача не потрапляли вікна або освітлювальні прилади.

З метою мінімізації відблисків від клавіатури та екрану застосовуються спеціальні захисні козирки і джерела штучного світла розташовано паралельно напрямку погляду на екран ПК з обох сторін.

Для запобігання засліпленню користувачів світильники місцевого освітлення молочного кольору. Захисний кут відбивача світильника становить  $60^{\circ}$ .

Для оздоблення приміщень використовують дифузно–відзеркалюючі матеріали з коефіцієнтами відбиття: стелі – 0,8; стін – 0,5; підлоги – 0,3, що відповідає чинним вимогам [14].

Вміст шкідливих хімічних речовин у приміщеннях з ПК не перевищує концентрацій вказаних у ГОСТ 12.1.005–88 «Общие санитарно–гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

На робочому місці користувачів ПК розміщується монітор, клавіатура, робочий стіл, крісло. При розташуванні елементів робочого місця враховано наступні фактори:

- робочу позу користувача;
- простір для розміщення користувача;
- можливість огляду елементів робочого місця;
- можливість огляду простору за межами робочого місця;
- можливість робити записи, розміщення документації і матеріалів, які використовує користувач.

Взаємне розташування елементів робочого місця не заважає виконанню всіх необхідних рухів та переміщень для експлуатації ПК. Отже, при розробці моделей, методів і системи підтримки процесу оцінювання якості систем дистанційного навчання, враховано необхідні вимоги щодо охорони праці при використанні електронно–обчислювальної техніки і забезпечено умови для зручної та ефективної роботи працівників.

## 6.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

### 6.2.1. Організація управління цивільним захистом на підприємстві (цеху)

Об'єкт господарювання (підприємство, установа, організація) є основною ланкою в системі ЦЗ держави. На об'єкті, де зосереджені людські і матеріальні ресурси, здійснюються економічні і захисні заходи. У відповідності до законодавства, керівництво підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності і підпорядкування забезпечує своїх працівників засобами індивідуального та колективного захисту, місцем в захисних спорудах, організовує здійснення заходів по евакуації, створює сили для ліквідації наслідків НС та забезпечує їх готовність, виконує інші заходи з ЦЗ і несе пов'язані з цим матеріальні та фінансові витрати. Власники потенційно небезпечних об'єктів відповідають також за оповіщення і захист населення, що проживає в зонах можливого ураження від наслідків аварій на цих об'єктах. Начальником ЦЗ об'єкту є керівник. Він несе особисту відповідальність за організацію і стан цивільного захисту об'єкту, керує діями органів і сил ЦЗ при проведенні рятувальних робіт на ньому. Заступники начальника ЦЗ об'єкту допомагають йому з проблемами евакуації, матеріально-технічного постачання, інженерно-технічного забезпечення тощо. Органом повсякденного управління ЦЗ є відділ (сектор) з питань НС та ЦЗ, який організовує і забезпечує повсякденне керівництво виконанням завдань ЦЗ на об'єкті. Для підготовки та втілення в життя заходів з окремих напрямків створюються служби зв'язку і оповіщення, сховищ і укриттів, протипожежної охорони, охорони громадського порядку, медичної допомоги, протирадіаційного і протихімічного захисту, аварійно-технічного й матеріально-технічного забезпечення та інші. Начальниками служб призначаються начальники установ, відділів, лабораторій, на базі яких вони утворюються. Служба зв'язку та оповіщення створюється на базі вузла зв'язку об'єкту. Головні завдання служби – забезпечити своєчасне оповіщення керівного складу та службовців про загрозу аварії, катастрофи, стихійного лиха, нападу противника; організувати зв'язок і підтримувати його в стані постійної готовності. Протипожежна служба створюється на базі

підрозділів відомчої пожежної охорони. Служба розробляє протипожежні профілактичні заходи і контролює їх виконання; організовує локалізацію і гасіння пожежі. Медична служба формується на базі медичного пункту, поліклініки об'єкту. На неї покладається організація проведення санітарно-гігієнічних та профілактичних заходів, надання медичної допомоги потерпілим та евакуація їх у лікувальні установи, медичне обслуговування робітників, службовців і членів їхніх сімей в місцях розосередження. Служба охорони громадського порядку створюється на базі підрозділів відомчої охорони. Її завдання ~ організація і забезпечення надійної охорони об'єкта, громадського порядку в умовах НС, при ліквідації наслідків аварії, стихійного лиха, а також у воєнний час. Служба протирадіаційного і протихімічного захисту організовується на базі хімічної лабораторії чи цеху. На неї покладається розробка та здійснення заходів щодо захисту робітників і службовців, джерел водозабезпечення, радіаційного і хімічного спостереження, проведення заходів з ліквідації радіаційного і хімічного зараження та здійснення дозиметричного контролю. Служба сховищ та укриттів організовується на базі відділу капітального будівництва, житлово-комунального відділу. Вона розробляє план захисту робітників, службовців та їх сімей з використанням сховищ та укриттів, забезпечує їх готовність та правильну експлуатацію. Аварійно-технічна служба створюється на базі виробничо-технічного відділу або відділу головного механіка. Служба розробляє та здійснює попереджувальні заходи, що підвищують стійкість основних споруд, інженерних мереж та комунікацій в надзвичайних ситуаціях, організовує проведення робіт по ліквідації і локалізації аварії на комунально-енергетичних мережах. Служба матеріально-технічного забезпечення створюється на базі відділу матеріально-технічного забезпечення об'єкта. Вона організовує своєчасне забезпечення формувань усіма засобами оснащення, постачання продуктів харчування і предметів першої необхідності робітників та службовців на об'єкті й у місцях розосередження, ремонт техніки і майна. Транспортна служба створюється на базі транспортного відділу, гаражу об'єкта. Вона розробляє і здійснює заходи з забезпечення перевезень, пов'язаних із розосередженням працівників та доставкою їх до місця роботи, проведення рятувальних робіт. Кожна служба створює, забезпечує,

готує формування служби (команди, групи, ланки) і керує ними при виконанні робіт. Формування загального призначення - рятувальні загони (команди, групи, ланки), зведені рятувальні загони (команди) підпорядковані безпосередньо начальнику ЦЗ об'єкта. Кожне з них має свою структуру і можливості. Наприклад: Зведена рятувальна команда (ЗРК) у своєму складі має підрозділи різного призначення, такі, як ланка зв'язку і розвідки, дві рятувальні групи, група механізації, санітарна дружина тощо. ЗРК може самостійно виконувати основні рятувальні та інші невідкладні роботи (РНР) в осередку ураження.

6.2.2. Здійснення заходів щодо зниження дії іонізуючого випромінювання на радіоелектронну апаратуру зв'язку, радіомовлення та телебачення

Заходи радіаційної безпеки використовуються на підприємствах і, як правило, потребують проведення цілого комплексу різноманітних захисних заходів, що залежать від конкретних умов роботи з джерелами іонізуючих випромінювань і, передусім, від типу джерела випромінювання.

Закритими називаються будь-які джерела іонізуючого випромінювання, устрій яких виключає проникнення радіоактивних речовин у навколишнє середовище при передбачених умовах їхньої експлуатації і зносу.

Це – гамма-установки різноманітного призначення; нейтронні, бета і гамма-випромінювачі; рентгенівські апарати і прискорювачі заряджених часток. При роботі з закритими джерелами іонізуючого випромінювання персонал може зазнавати тільки зовнішнього опромінення.

Захисні заходи, що дозволяють забезпечити умови радіаційної безпеки при застосуванні закритих джерел, ґрунтуються на знанні законів поширення іонізуючих випромінювань і характеру їхньої взаємодії з речовиною. Головні з них такі:

□ доза зовнішнього опромінення пропорційна інтенсивності випромінювання і часу впливу;

□ інтенсивність випромінювання від точкового джерела пропорційна кількості квантів або часток, що виникають у ньому за одиницю часу, і обернено пропорційна квадрату відстані;



□ інтенсивність випромінювання може бути зменшена за допомогою екранів.

З цих закономірностей випливають основні принципи забезпечення радіаційної безпеки:

□ зменшення потужності джерел до мінімальних розмірів (“захист кількістю”);

□ скорочення часу роботи з джерелом (“захист часом”);

□ збільшення відстані від джерел до людей (“захист відстанню”);

□ екранування джерел випромінювання матеріалами, що поглинають іонізуюче випромінювання (“захист екраном”).

Найкращими для захисту від рентгенівського і гамма-випромінювання є свинець і уран. Проте, з огляду на високу вартість свинцю й урану, Можуть застосовуватися екрани з більш легких матеріалів – просвинцьованого скла, заліза, бетону, залізобетону і навіть води. У цьому випадку, природно, еквівалентна товща екрану значно збільшується.

Для захисту від бета-потоків доцільно застосовувати екрани, які виготовлені з матеріалів з малим атомним числом. У цьому випадку вихід гальмівного випромінювання невеликий. Звичайно як екрани для захисту від бета-випромінювань використовують органічне скло, пластмасу, алюміній.

Відкритими називаються такі джерела іонізуючого випромінювання, при використанні яких можливе потрапляння радіоактивних речовин у навколишнє середовище.

Джерелами аерозолів можуть бути не тільки виконувані виробничі операції, але і забруднені радіоактивними речовинами робочі поверхні, спецодяг і взуття.

Основні принципи захисту:

□ використання принципів захисту, що застосовуються при роботі з джерелами випромінювання у закритому виді;

□ герметизація виробничого устаткування з метою ізоляції процесів, що можуть стати джерелами надходження радіоактивних речовин у зовнішнє середовище;

- заходи планувального характеру;
  - застосування санітарно-технічних засобів і устаткування, використання спеціальних захисних матеріалів;
  - використання засобів індивідуального захисту і санітарної обробки персоналу;
  - дотримання правил особистої гігієни;
  - очищення від радіоактивних забруднень поверхонь будівельних конструкцій, апаратури і засобів індивідуального захисту;
- використання радіопротекторів (біологічний захист). Висновки

Радіація на сьогодні є чи не найнебезпечнішим фактором впливу не тільки на людину, але й на усі живі організми на планеті. Неконтрольовані ядерні реакції, ядерні війни та ряд інших можливих результатів людської діяльності, пов'язаних із радіацією негативно впливають на здоров'я людини та навколишнє середовище. Дотримання рекомендацій щодо захисту персоналу від впливу радіації, які проаналізовано вище, дає змогу мінімізувати ризики, пов'язані із загибеллю великої кількості людей, а також зберегти їхнє здоров'я.

## РОЗДІЛ 7

### ЕКОЛОГІЯ

#### 7.1. Роль науково-технічного прогресу в забезпеченні якісного стану довкілля

Ще в середині ХХ століття людство вступило в епоху науково-технічного прогресу, що посилило антропогенний вплив на природу. Цей вплив має суперечливий характер: з одного боку, вдосконалення технологій і зростання виробництва сприяють задоволенню найрізноманітніших потреб людей, раціональному використанню природних ресурсів, збільшенню виробництва продуктів харчування тощо; з іншого - забруднюється природне середовище, знищуються ліси, посилюється ерозія ґрунтів, випадають кислотні дощі, зменшується озоновий шар землі, погіршується стан здоров'я людей. На жаль, Україна є однією з найбільш неблагополучних в екологічному плані країн Європи, адже її економіка сформувалася без урахування об'єктивних потреб та інтересів народу, а фінансування природоохоронних заходів завжди здійснювалося за залишковим принципом. Унаслідок цього економіка України перенасичена хімічними, металургійними та гірничорудними виробництвами із застарілими технологіями, що й справляє значний руйнівний вплив на навколишнє середовище.

Окрім постійно існуючої екологічної небезпеки, створюваної працюючими промисловими підприємствами, існує також небезпека потенційна, яка зумовлена можливістю виникнення екологічних катастроф внаслідок надзвичайних ситуацій різного походження.

Ці надзвичайні ситуації можуть мати як техногенне, так і природне походження. Це можуть бути аварії на підприємствах важкої, харчової, хімічної промисловості, енергетичного комплексу, порушення балансу екосистеми внаслідок потужних повеней, землетрусів, небезпечних метеорологічних явищ і т. д.

Для вирішення цих проблем в державі постійно ведеться робота по цілому ряду програм.

В межах цільової відомчої державної програми "Моніторинг навколишнього середовища і безпеки України" розроблено нові, з використанням сучасних технологій, методики моніторингу та прогнозування геодинамічних процесів та пов'язаних з ними потенційних небезпек. Створена мережа контролю геодинамічної ситуації в небезпечних районах, де розташовані Ново-Дністровська ГЕС, Південно-Українська АЕС, Ташлицька ГАЕС.

При виконанні теми "Еколого-гідрологічний моніторинг територій забруднення геологічного середовища легкими нафтопродуктами" застосовано комплекс гідрологічних методів дослідження геологічного середовища, починаючи від буріння розвідувальних і моніторингових свердловин та закінчуючи прогнозуванням міграційних процесів з використанням методів математичного моделювання. Об'єктами досліджень є забруднені нафтопродуктами ділянки територій у різних районах України.

Інститутом геологічних наук НАН України виконано комплексну оцінку стану геологічного середовища (гірських порід, ґрунтів, донних відкладень, підземних та поверхневих вод) в умовах реструктуризації гірничодобувного виробництва розвинутих гірничодобувних районів Донбасу, Кривбасу, Карпатського регіону.

Інститут геохімії навколишнього середовища НАН проводить дослідження пов'язані з проблемами радіоактивних відходів та реабілітацією забруднених територій.

Більшість діючих програм спрямовані на вирішення вже існуючих екологічних проблем в державі, що виникли як внаслідок повсякденної життєдіяльності населення і держави в цілому, так і внаслідок порушення циклів технологічних та природних процесів. Найпростішим способом вирішення проблеми завжди були не ефективні методи боротьби з наслідками, а запобігання їх виникнення. Саме тому дуже важливим є дотримання всіх норм, правил та законодавчих актів, що визначають екологічну безпеку держави, та доведення їх до керівників всіх рівнів та структурних підрозділів і населення в цілому.

## 7.2. Вимоги до моніторів (ВДТ) та ПЕОМ

Конструкція монітора (відео термінального пристрою – ВДТ) повинна забезпечувати можливість фронтального спостереження екрана шляхом повороту корпусу в горизонтальній площині навколо вертикальної осі в межах  $\pm 30^\circ$  і у вертикальній площині навколо горизонтальної осі в межах  $\pm 30^\circ$  з фіксацією в заданому положенні. Дизайн моніторів повинен передбачати фарбування в спокійні м'які тони з дифузійним розсіюванням світла. Корпус монітора і ПЕОМ, клавіатура повинні мати матову поверхню одного кольору з коефіцієнтом відображення 0,4 - 0,6 і не мати блискучих деталей, здатних створювати відблиски.

Конструкція ВДТ повинна передбачати наявність ручок регулювання яскравості і контрасту, що забезпечують можливість регулювання яскравості і контрасту, що забезпечують можливість регулювання цих параметрів від мінімальних до максимальних значень. ВДТ і ПЕОМ повинні забезпечувати потужність експозиційної дози рентгенівського випромінювання в будь-якій точці на відстані 0,05 м. від екрана і корпусу монітора при будь-яких положеннях регулювальних пристроїв не повинна перевищувати  $7,74 \times 10^{-4}$  А / кг, що відповідає еквівалентній дозі, рівної 0,1 мбер / год (100 мкР / год) [2]. Вирізняють дві основні групи стандартів на монітори: До першої групи відносяться стандарти UL, CSA, DHHS, CE, скандинавські SEMRO, DEMKO, NEMKO і FIMKO, і навіть FCC Class B. З другої групи найвідоміші MPR-II, TCO «92 і TCO»95, ISO 9241-3, EPA Energy Star, TUV Ergonomic.

FCC Class B. Цей стандарт розроблений канадською Федеральною комісією з комунікацій задля забезпечення прийнятною захисту довкілля тяжіння радіозавад у замкненому просторі. Устаткування, відповідає вимогам FCC Class B, на повинен заважати роботі тілі- і радіоапаратури.

MPR-II. Цей стандарт був випущений у 1990 р. Шведським національним департаментом стандартів, і затверджений ЄЕС. MPR-II накладає обмеження на випромінювання від комп'ютерних моніторів і промислової техніки, яка у офісі.

ТСО 92. Рекомендація, розроблена Шведською конфедерацією профспілок та національною радою індустріального і технічного розвитку Швеції (NUTEK), регламентує взаємодію Космосу з довкіллям. Вона потребує зменшення електричного і магнітного полів до технічно можливого рівня з метою захисту користувача. Щоб отримати сертифікат ТСО «92, монітор повинен відповідати стандартам низького випромінювання (Low Radiation), тобто мати низький рівень електромагнітного поля, забезпечувати автоматичне зниження при боргом невикористанні, відповідати європейських стандартів пожежної і електричної безпеки. У 1995р. вимоги ТСО стали жорсткішими. TUV Ergonomic – німецький стандарт ергономіки. Монітори, які відповідають цьому стандарту, пройшли випробування відповідно до EN 60950 (електрична безпека) і ZH 1/618 (ергономічне облаштування робочих місць, оснащених дисплеями), і навіть відповідають шведському стандарту MPR-II. EPA Energy Star VESA DPMS. Відповідно до цього стандарту монітор повинен підтримувати три енергозберігаючих режиму – очікування (stand-by), припинення (suspend) і «сон» (off). У режимі чекання зображення на екрані пропадає, але внутрішні компоненти монітора функціонують нормального режимі, а енергоспоживання знижується до 80% від робітника стану. У режимі припинення, зазвичай, відключаються високовольтні вузли, а споживання падає до 30 Вт і менше. І, насамкінець, як з так званого «сну» монітор споживає трохи більше 8 Вт, а функціонує в нього лише мікропроцесор. При натисканні будь-який клавіші клавіатури чи русі миші монітор перетворюється на нормальний режим роботи [3].

До вітчизняних нормативних актів, які встановлюють санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин необхідно віднести: Кодекс законів про працю України, Закони України “Про охорону праці”, “Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення”; Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПІН 3.3.2.007-98: Затверджено Постановою Головного державного санітарного лікаря України 10 грудня 1998 р. N7 [4, 477-478].

## ВИСНОВКИ

Основні результати даної роботи полягають в наступному.

- 1) Проведено аналіз типів радіально-кругових розгорток.
- 2) Показано переваги використання растрової графіки при представленні зображення при його показі або друку.
- 3) Переваги використання векторної графіки, коли можна уявити зображення у вигляді набору об'єктів.

Векторна графіка – основа створення і обробки синтезованих зображень: креслень, шрифтів, плакатів і т.д.

Обертання зображення в режимі реального часу є важливою операцією в багатьох областях застосування, таких як обробка зображень, медицина, комп'ютерна графіка та розпізнавання образів. Існуючі архітектури, які покладаються на обчислення CORDIC для тригонометричних операцій, спричиняють серйозні вузькі місця у додатках з високою пропускнуою здатністю, особливо там, де задіяні зображення високої роздільної здатності. Представлений новий ієрархічний метод, що використовує симетричні характеристики зображення для прискорення обертання зображень з високою роздільною здатністю. Дослідження, засновані на зображенні  $512 \times 512$ , показують, що запропонований метод дає прискорення на 20 у порівнянні з існуючими методами лише на 3%. Крім того, було оцінено вплив ієрархії на ефективність обчислень, щоб забезпечити гнучкість об'єму та часу. Запропонована методика є масштабованою і значні покращення продуктивності очевидні для зображень із дуже високою роздільною здатністю.

- 4) Запропоновано новий метод, щоб значно зменшити кількість операцій CORDIC для прискорення процесу обертання зображення.

- 5) Запропоновано ієрархічний метод для кращого управління необхідною кількістю додавань та операцій CORDIC, забезпечуючи тим самим гнучкість в області часу в апаратній реалізації. Продемонстровано, що такий підхід передбачає значне прискорення та прийнятне збільшення витрат на об'єм порівняно з існуючими

методами. Проаналізовано вплив ієрархії на ефективність обчислень, щоб визначити оптимальну ієрархію для заданої роздільної здатності зображення. У випадку із зображенням  $512 \times 512$  ієрархія чотирьох виявилася оптимальною, хоча максимально можлива ієрархія – дев'ять. Збільшення ширини даних для розміщення загальної кількості додавань призводить до незначного збільшення загальних витрат на обладнання.

б) Запропонована методика є масштабованою і добре надає велике обертання зображень високої роздільної здатності.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Астанин, М.Ю. Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений / М.Ю.Астанин, А.А.Костылев. – М. : Радио и Связь, 1989. – 190 с.
2. Айфичер, Эммануил С., Джервис, Барри У., Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2–е издание: пер. с англ. – М. : Вильямс, 2004. – 992 с.
3. Белоцерковский Г.Б., Основы радиолокации и радиолокационные устройства. – М. : Советское радио, 1975. – 336 с.
4. Бугаев, А.С. Биорадиолокация / А.С. Бугаев, С.И. Ивашов, И.Я.Иммореев. – : МГТУ им. Н.Э, Баумана, 2010. – 396 с.
5. Вайнштейн, Л.А. Разделение частот в теории колебаний и волн / Л.А. Вайнштейн, Д.Е. Вакман. – М. : Наука, 1983. – 288 с.
6. Гоноровский, И.С. Радиотехнические цепи и сигналы : учебник для вузов. – 2–е изд. – М. : Радио и Связь, 1971. – 672 с.
7. Гринев, А.Ю. Вопросы подповерхностной радиолокации. – М. : Радиотехника, 2005. – 416 с.
8. Иммореев, И.Я. Сверхширокополосные радары: новые возможности, необычные проблемы, системные особенности. // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. 1998. № 4. – С. 25 – 55.
9. Иммореев, И.Я. Возможности и особенности сверхширокополосных систем // Прикладная электроника. – Харьков., 2002 г. – т. 1, № 2. – С. 122 – 140.
10. Иммореев, И.Я., Перспективы применения сверхширокополосной радиолокации // Радиоэлектроника за рубежом, Экспресс–информация., 1999. – Вып. 1. – С. 3 – 21.
11. Ипатов, В.П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. – М. : Техносфера, 2007. – 488 с.
12. Когерентная СКИ РЛС с последовательной обработкой сигналов. / М.В. Головачев, А.В. Кочетов, О.С. Миронов, П.С. Панфилов, В.А. Сарычев, И.М. Хомяков // III Всероссийские Арmandовские чтения: Сверхширокополосные сиг-

налы в радиолокации связи и акустике / материалы IV Всероссийской научной конференции (Муром, 25-27 июня 2013 г.) – Муром : Изд. полиграфический центр МИ ВлГУ, 2013.

13. Козлов Н. И., Логвин А.И., Сарычев В.А., Поляризация радиоволн. Поляризационная структура радиолокационных сигналов. – М.: Радиотехника, 2005. – 704 с.

14. Лазоренко, О.В. Сверхширокополосные сигналы и физические процессы / О.В. Лазоренко, Л.Ф. Черногор // Радиофизика и радиоастрономия, 2008. – т. 13, № 2. – 166–194.

15. Лайонс, Ричард Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. – М. : ООО «Бином–Пресс», 2006 г. – 656 с.

16. Рабинер, Л., Гоулд, Б., Теория и применение цифровой обработки сигналов, пер. с англ. А.Л. Зайцева, Э.Г. Назаренко, Н.Н. Тетекина. – М. : Мир, 1978. – 848 с.

17. Радзиевский, В.Г. Обработка сверхширокополосных сигналов и помех / В.Г. Радзиевский, П.А. Трифионов. – М. : Радиотехника, 2009. – 288 с.

18. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов: учебник для вузов. 2–е изд. – СПб. : Питер, 2006. – 608 с.

19. Смит, Стивен, Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников, пер. с англ. А.Ю. Линовича, С.В. Витязева, И.С. Гусинского. – М.: Додэка – XXI, 2012. – 720 с.

20. Структура экспериментального образца сверхширокополосного короткоимпульсного радиолокатора / М.В. Головачев, А.В. Кочетов, О.С. Миронов, П.С. Панфилов, В.А. Сарычев, И.М. Хомяков // II Всероссийские Армандовские чтения “Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред”, Муром, 2012.

21. Чапурский, В.В. Избранные задачи теории сверхширокополосных радиолокационных систем. – М. : Изд–во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 279 с.

22. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск: Учебник / В.Н. Тяпкин, А.Н. Фомин, Е.Н. Гарин, Ю.Л. Фатеев, В.П. Бердышев и др.; Ред. В.Н. Тяпкин. – Красноярск: Сиб. Федер. ун–т. – 2011. – 536 с.

23. Paichard Y. Multistatic passive coherent location radar systems / Y. Paichard, M. R. Inggs. – Radar Conference, EuRAD 2009. European. – IEEE, 2009. – С. 45–48.

24. Gumiero F. Multistatic passive radar geometry optimization for target 3D positioning accuracy // Radar Conference (EuRAD), 2010 European. – IEEE, 2010. – С. 467–470.

25. Зырянов Ю.Т. Основы радиотехнических систем: учебное пособие / Ю.Т. Зырянов, О.А. Белоусов, П.А. Федюнин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 144 с

26. Черняк В. С. Многопозиционная радиолокация : научное издание. – М. : Радио и связь, 1993. – 416 с.

27. Исследование многопозиционной РЛС на основе системы связи WiMAX / Великанова Е.П., Гельцер А.А., Ворошилин Е.П., Рогожников Е.В., Киселев П.С. // Вестник СибГУТИ. 2014. № 3. – С. 67–74.

28. Преимущества многопозиционных РСА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rrdlab.com/preimushhestva-mnogopozicionnyh-rsa/>, свободный (дата обращения 11.03.2014).

29. Рогожников Е.В. Использование сигналов современных телекоммуникационных систем в пассивных радиолокационных системах / Е.В. Рогожников, Д.Н. Ушарова, А.В. Убайчин // Известия Томского политехнического университета. 2013. – Т. 323, № 5. – С. 44–48.

30. Радиолокация по сигналам сторонних источников. Часть 1: современное состояние/А. В. Бархатов, В. И. Веремьев, Д. А. Ковалев, А. А. Коновалов // Инновации. – СПб.: Трансфер, 2013, № 9. – С.114–119.

31. Вещание в диапазоне УКВ (ЧМ–FM). Москва и Подмосковье [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://guzei.com/radio/porokhov/fm.html>, свободный (дата обращения 17.02.2015)

32. Триада ТВ Производство оборудования для теле и радиовещания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.triadatv.ru/>, свободный (дата обращения 19.03.2014).

33. 3G mobile licensing policy: from gsm to imt-2000 – a comparative analysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itu.int/osg/spu/ni/3G/casestudies/GSM-FINAL.pdf>, свободный (дата обращения 16.03.2014)

34. Технические характеристики радиопередающих устройств базовых станций UMTS для режима FDD: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://1234g.ru/3g/umts/tekhnicheskie-kharakteristiki-radioperedayushchikh-ustroystv-bazovykh-stantsij-umts-dlya-rezhima-fdd>, свободный (дата обращения 16.04.2014).

35. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems. – 29.02.2009, – 2082 p.

36. 3GPP TR 25.814 Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA), Release 7, V7.1.0, 2006

37. Kattoush A. H. The performance of multiwavelets based OFDM system under different channel conditions/ A.H. Kattoush, W.A.Mahmoud, S. Nihad //Digital Signal Processing. – 2010. – Т. 20. – №. 2. – С. 472–482.

38. ETSI EN 302 755 v1.3.1 (2012–04) Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB–T2) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://telcogroup.ru/files/materials-pdf/DVB\\_standards/DVB-T/a122\\_DVB-T2\\_spec.pdf](http://telcogroup.ru/files/materials-pdf/DVB_standards/DVB-T/a122_DVB-T2_spec.pdf), свободный (дата обращения 16.03.2014).

39. Телевидение вещательное цифровое. Передающее оборудование для цифрового наземного телевизионного вещания: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://niir.ru/wp-content/uploads/2013/12/GOST-P-peredatchiki-DVB-T-T2\\_red\\_1.pdf](http://niir.ru/wp-content/uploads/2013/12/GOST-P-peredatchiki-DVB-T-T2_red_1.pdf), свободный (дата обращения 12.02.2015). Cellphone Radar: [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://67.225.133.110/~gbpprorg/mil/radar/cendar.pdf>, свободный (дата обращения 12.02.2015).

40. Palmer J. et al. A new illuminator of opportunity bistatic radar research project at DSTO. – Defense science and technology organization Edinburgh (Australia) electronic warfare and radar division, 2009. – №. DSTO-TR-2269 Passive Radar: to see without being seen: [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://militaryaircraft->

[airbusds.com/Portals/0/Images/DefenceAndSpace/Passive%20radar\\_To%20see%20without%20being%20seen.pdf](http://airbusds.com/Portals/0/Images/DefenceAndSpace/Passive%20radar_To%20see%20without%20being%20seen.pdf), свободный (дата обращения 12.02.2015).

41. Willis N. J. Bistatic radar / N. J. Willis. – SciTech Publishing Inc, 2005. – 337 с.

42. Денисов В. П. Радиотехнические системы : Учебное пособие / В. П. Денисов, Б. П. Дудко. – Томск : ТУСУР, 2006. – 251 с.

43. Knott E.F. Radar Cross Sections. Raleigh NC / E.F. Knott, J.F. Shaeffer, M.T. Tuley – SciTech Publ., 2004. 637 p.

44. Охрименко А.Е. Методы подавления прямого сигнала в радиолокаторах с подсветом от широкоэмиттерных передатчиков / А.Е. Охрименко, Н.Г. Пархоменко, П.Г. Семашко. // Электромагнитные волны и электронные системы, № 5, 2011.

45. Willis N. J. Advances in bistatic radar. / N. J. Willis, H. Griffiths. – SciTech Publishing, 2007.

46. Проскурин В.И. Оценка требований к линейности приемного тракта активно-пассивных РЛС // Радиотехника. – 2011. – N 1 ; Радиосистемы. – 2011. – № 1. – С. 80–83.

47. Перспективная РЛС нового класса к 2015 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://topwar.ru/21471-perspektivnaya-rls-novogo-klassa-k-2015-godu.html>, свободный (дата обращения 12.02.2015).

48. Станция радиотехнической разведки "Кольчуга" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://flot2017.com/file/show/none/24581>, свободный (дата обращения 19.10.2014).

49. Пархоменко Н. Г. Вычислительная сложность алгоритмов корреляционной обработки сигналов в радиолокаторе с цифровым телевизионным подсветом / Н.Г. Пархоменко, П.Г. Семашко // Автоматизация процессов управления. – 2010. – №. 3.

50. Jiabing Z. A direct path interference cancellation approach to passive radar based on FM radio transmitter / Z.Jiabing, T. Liang, H. Yi //Electro/information Technology, 2006 IEEE International Conference on. – IEEE, 2006. – С. 55–59.

51. Tan D. K. P. et al. Signal processing for airborne passive radar //European Radar Conference (EuRAD), 2014 11th. – IEEE, 2014. – С. 141–144.

52. Villano M., Antenna Array for Passive Radar: Configuration Design and Adaptive Approaches to Disturbance Cancellation / M.Villano, F. Colone, P. Lombardo //International Journal of Antennas and Propagation. – 2013.– С. 1–16.

53. Пат. 25423330 РФ, МПК G01S 11/02. Способ пассивного обнаружения воздушных объектов / Е.В. Рогожников (РФ), М.В. Миронов (РФ), Е.П. Великанова (РФ).– № 2013147340; заявл. 23.10.13; опубл. 20.01.15, Бюл. № 16. – 3 с.

54. Colone F. Cancellation of clutter and multipath in passive radar using a sequential approach / F. Colone, R. Cardinali, P. Lombardo //Radar, 2006 IEEE Conference on. – IEEE, 2006. – С. 7 pp.

55. Ansari F. Implementation of sequential algorithm in batch processing for clutter and direct signal cancellation in passive bistatic radars / F. Ansari, M. R. Taban //Electrical Engineering (ICEE), 2013 21st Iranian Conference on. – IEEE, 2013. – С. 1–6.

56. Тисленко В. И. Статистическая теория радиотехнических систем: учеб. пособие. – Томск: Том. гос. ун–т систем управления и радиоэлектроники, 2003.– 153 с.

57. Повышение дальности действия пассивных радиолокационных систем использующих сигналы телекоммуникационных источников / Рогожников Е.В., Великанова Е.П., Шибельгут А.А., Ворошилин Е.П. // Известия МГТУ «МАМИ» № 3(21), 2014, т. 4, С. 80–84.

58. Семашко П. Г. Исследование зон радиолокационного наблюдения объектов в электромагнитном поле телевизионных передатчиков. – метод. указания к лаборатор. работе по дисциплине «Радионаблюдение» для студентов специальности «Радиоэлектрон. защита инфор.» днев. формы обучения.– Минск: БГУИР, 2012. – 21 с.

59. Рогожников Е.В. Двухэтапный алгоритм корреляционной обработки сигнала в пассивной радиолокационной системе, работающей по сигналам сторонних источников / Е.В. Рогожников, А.А. Гельцер, Е.П. Ворошилин // Известия МГТУ «МАМИ» № 1(23), 2015, т. 4, С. 74–81.

60. Цилькер Б. Я., Организация ЭВМ и систем: Учебник для вузов / Б. Я. Цилькер, С. А. Орлов // СПб.: Питер, 2007. – 672 с.
61. Скляр Б. Цифровая связь: Теоретические основы и практическое применение. – Издательский дом Вильямс, 2004.
62. Алгоритмы обработки и преобразования сигналов в системе «Мобильный WiMax» / Е.П. Ворошилин, Е.В. Рогожников, А.С. Вершинин, А.Я. Демидов, Н.А. Каратаева, Д.А. Коротков, Н.А. Лобанов, Д.Ю. Майков, Р.Р. Абенов – Томск: В-Спектр, 2012. – 172 с. ISBN 978–5–91191–274–1.
63. Исследование методов эквалайзирования для систем связи с использованием OFDM сигналов/ Р.Р. Абенов, А.С. Вершинин, Е.П. Ворошилин, Е.В. Рогожников // Вестник СибГУТИ.–2013, с. – 2013. – С. 50–56.
64. Энциклопедия Б. С. в 30 т.–3–е изд //М.: Сов. энцикл. – 1969. – Т. 1978. – С. 161.
65. Семашко П.Г. Перспективы полуактивной радиолокации в связи с развитием служб цифрового радиовещания / П.Г. Семашко, Н.Г. Пархоменко, А.Е. Охрименко // Успехи современной радиоэлектроники. – 2010. – № 7. – С. 3846.
66. Воробьев Е. Н. Особенности использования полуактивных РЛС для мониторинга акваторий в целях предотвращения ЧС // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2013. – №. 9 (146). – С. 17 – 19.
67. Метод подавления прямого сигнала подсвета в многопозиционной пассивной РЛС, работающей по сигналам сторонних источников / Е.В. Рогожников, Я.В. Крюков, А.А. Шибельгут, Е.П. Ворошилин // Известия МГТУ «МАМИ» № 1(25), 2015, Т. 4, С. 81–88.
68. Магнитоэлектрический СВЧ аттенюатор–фазовращатель / Д. В. Лаврентьева, М. И. Бичурин, А.С Татаренко, А.М. Сержантов и др. Исследование управляемого сверхвысокочастотного жидкокристаллического фазовращателя. – 2011.

## ДОДАТКИ



