

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра програмного забезпечення
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:

**«Розробка методів і програмно-
апаратних засобів кругової інтерполяції для задач
комп'ютерної графіки»**

Виконав: студент 2-го курсу, групи
2ПІ-20М
спеціальності 121 – Інженерія
програмного забезпечення
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)
Величко М.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., зав. каф. ПЗ
Романюк О.Н.
(прізвище та ініціали)
« ____ » _____ 2021 р.

Опонент:
к.т.н., доцент кафедри КН
Колодний В.В.
(прізвище та ініціали)
« ____ » _____ 2021 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ПЗ
д.т.н., проф. Романюк О. Н.
(прізвище та ініціали)
« ____ » _____ 2021 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра програмного забезпечення
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 12 – Інформаційні технології
Спеціальність 121 – Інженерія програмного забезпечення
Освітньо-професійна програма – Інженерія програмного забезпечення

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПЗ

Романюк О. Н.

« 13 » вересня 2021 р.

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Величку Михайлу Олександровичу

Тема роботи – Розробка методів і програмно-апаратних засобів кругової інтерполяції для задач комп'ютерної графіки

Керівник роботи: Романюк Олександр Никифорович, д.т.н., завідувач кафедри ПЗ, затверджені наказом вищого навчального закладу від « 24 » вересня 2021 р. № 277.

2. Строк подання студентом роботи

1 грудня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: тип інтерполяції - кругова; метод інтерполяції – метод оцінювальної функції; розмір координатного простору – 2028x2048; кольоровий режим – TrueColor.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Аналіз методів колової інтерполяції, розробка модифікованого методу оцінювальної функції, розробка методу колової інтерполяції з формуванням комбінованих приростів, розробка засобів колового інтерполювання, розробка методу антиаліазингу зображення крокової траєкторії кіл, тестування розроблених програмних засобів, економічна частина.

5. Перелік графічного матеріалу: мета та задачі дослідження, метод оцінювальної функції, похибки кругового інтерполювання, метод формування кола подвійними приростами, обмеження на оцінювальну функцію, типи крокових переміщень і формули для розрахунків, алгоритм формування кола, метод антиаліазингу зображення крокової траєкторії кіл, інтерфейс програми, структурна схема кругового інтерполятора, наукова новизна та практична цінність.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	Романюк О. Н., д.т.н., завідувач кафедри ПЗ	14.09.21	1.12.21
5	Буреннікова Н. В., д.е.н, професор кафедри ЕПВМ	14.11.21	1.12.21

7. Дата видачі завдання 14 вересня 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз методів колової інтерполяції	14.09.21– 28.09.21	Виконано
2	Розробка модифікованого методу оцінювальної функції	29.09.21– 15.10.21	Виконано
3	Розробка методу колової інтерполяції з формуванням комбінованих приростів	16.10.21– 30.10.21	Виконано
4	Розробка засобів колового інтерполювання	1.11.21 – 15.11.21	Виконано
5	Розробка методу антиаліазингу зображення крокової траєкторії кіл	16.11.21– 20.11.21	Виконано
6	Економічна частина	20.11.21– 23.11.21	Виконано
7	Тестування розроблених програмних засобів	23.11.21– 01.12.21	Виконано

Студент _____ **Величко М.О.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ **Романюк О. Н.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Опонент магістерської кваліфікаційної роботи _____ **Колодний В. В.**

АНОТАЦІЯ

УДК 004.92

Величко М.О. Розробка методів і програмно-апаратних засобів кругової інтерполяції для задач комп'ютерної графіки. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 121 – інженерія програмного забезпечення, освітня програма – інженерія програмного забезпечення. Вінниця: ВНТУ, 2021. 123 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 25 назв; рис.: 27; табл.: 16.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено методи та програмно - апаратні засоби для формування зображень траєкторій кіл.

Проведено детальний аналіз методів колової інтерполяції та обґрунтовано використання для модифікації методу оцінювальної функції

Розроблено метод кругової інтерполяції, який порівняно з методом оцінювальної функції без установки початкового значення, дозволяє підвищити точність інтерполяції в два рази. Запропоновано метод кругової інтерполяції, який відрізняється від відомих формуванням в кожному інтерполяційному такті не одного, і відразу двох крокових приростів, що дозволяє до двох разів зменшити час формування крокової траєкторії кола.

Розроблено алгоритм згладжування зображення траєкторії кола, у якому використовується цілочисельна арифметика.

Розроблено структурну схему кругового інтерполятора, яка в порівняно з раніше відомим технічним рішенням дозволяє підвищити точність інтерполяції в два рази без істотних апаратних витрат.

Розроблено алгоритми та програми для формування кіл і їх дуг в задачах комп'ютерної графіки

Ключові слова: інтерполяція, метод оцінювальної функції, крокова траєкторія.

ABSTRACT

UDC 004.92

Velichko MO Development of methods and software and hardware of circular interpolation for computer graphics problems. Master's thesis in specialty 121 – software engineering. Vinnitsa: VNTU, 2021. 123 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 12 titles; fig.: 27; tabl.:16.

In the master 's qualification work the methods and software - hardware for formation of images of trajectories of circles are developed.

A detailed analysis of circular interpolation methods is performed and the use of the estimation function method for modification is substantiated

The method of circular interpolation has been developed, which in comparison with the method of estimating function without setting the initial value, allows to increase the accuracy of interpolation twice. The method of circular interpolation is proposed, which differs from the known formations in each interpolation clock not one, but two step increments at once, which allows to reduce the time of formation of the step trajectory of a circle up to two times.

An algorithm for smoothing the image of the trajectory of a circle, which uses integer arithmetic, has been developed.

A block diagram of a circular interpolator has been developed, which in comparison with the previously known technical solution allows to increase the accuracy of interpolation twice without significant hardware costs.

Algorithms and programs for forming circles and their arcs in computer graphics problems have been developed

Keywords: interpolation, estimation function method, step trajectory

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1 Аналіз методів колової інтерполяції.....	11
1.2 Алгоритм Брезенхема для генерації кола.....	16
Висновки.....	19
2 МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ КОЛОВОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ	20
2.1 Метод колової інтерполяції на основі оцінювальної функції.....	20
2.2 Метод колової інтерполяції з формуванням у кожному такті двох координатних приростів.....	32
Висновки.....	39
3 ПІДВИЩЕННЯ РЕАЛІСТИЧНОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ КРОКОВИХ ТРАЄКТОРІЙ	40
3.1 Антиаліайзинг зображення крокової траєкторії кіл.....	40
3.2 Антиаліайзинг зображення крокової траєкторії кривих другого порядку.....	46
Висновки.....	51
4 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДИФІКОВАНИХ МЕТОДІВ КРУГОВОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ	52
4.1 Програмна реалізація алгоритму Брезенхема.....	52
4.2 Програмна реалізація модифікованого алгоритму кругової інтерполяції.....	54
4.3 Апаратна реалізація кругового інтерполятора.....	58
4.4 Особливості алгоритму кругової інтерполяції.....	60
Висновки.....	66
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	68
5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки.....	68
5.2 Визначення рівня конкурентоспроможності розробки.....	73

5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	77
5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором.....	90
Висновки.....	94
ВИСНОВКИ.....	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	96
Додаток А. Технічне завдання.....	99
Додаток Б. ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ).....	103
Додаток В. Лістинги.....	104
Додаток Г. Ілюстративна частина.....	116
Додаток Д. Диплом і сертифікат.....	123

ВСТУП

Роль графічної інформації постійно зростає [1, 2], оскільки вона є найбільш образною та забезпечує візуальне відображення процесів та явищ. Сьогодні графічне подання інформації використовують практично всі галузі людської діяльності.

Формування графічних сцен виконується з використання графічних примітивів [1-2]. Велику питому вагу при цьому мають кола та їх дуги. Особливо поширені зазначені примітиви в конструкторській документації.

До методів і засобів колової інтерполяції висувають жорсткі вимоги як по часу формування, так і точності відтворення. Ці критерії знаходяться в протиріччі, тому на практиці намагаються знайти прийнятний компроміс.

Продуктивність кругових інтерполяторів повинна бути достатньою для підтримки динамічного режиму формування графічних сцен. Точність інтерполяції необхідна для усунення артефактів при формуванні крокової траєкторії та її згладженості [3-7].

Оскільки існуючі методи та засоби не відповідають вимогам багатьох галузей використання комп'ютерної графіки, то актуальним є питання її покращення з метою підвищення продуктивності та точності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася згідно плану виконання наукових досліджень на кафедрі програмного забезпечення.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення продуктивності та точності колового інтерполювання за рахунок модифікації та використання існуючих методів.

Задачі дослідження

1. Провести аналіз методів і засобів колового інтерполювання.
2. Модифікувати метод кругової інтерполяції з метою підвищення точності формування крокової траєкторії.
3. Розробити метод колової інтерполяції з формуванням комбінованих крокових приростів.

4. Розробити метод та засоби антиаліазингу зображень крокової траєкторії кола.
5. Розробити алгоритми та програмні засоби.
6. Провести експериментальні дослідження з метою перевірки достовірності прийнятих рішень та отримання порівняльних характеристик.

Об'єкт дослідження – процес колового інтерполювання при формуванні графічних зображень.

Предмет дослідження – методи і засобів колового інтерполювання у систем комп'ютерної графіки

Методи дослідження. У магістерській кваліфікаційній роботі використовувалися: теорія математичного аналізу, аналітична геометрія для модифікації методів колового інтерполювання; теорія алгоритмів і програмного забезпечення для розробки програм; комп'ютерне моделювання для перевірки отриманих результатів.

Наукова новизна результатів, отриманих у Магістерській дипломній роботі:

- Модифіковано метод кругової інтерполяції, який відрізняється від відомих використанням нових аналітичних залежностей для розрахунку оцінювальної функції, установці її початкового значення, що дозволило підвищити точність інтерполяції в два рази без істотних апаратних і часових витрат.

- Запропоновано метод кругової інтерполяції, який відрізняється від відомих формуванням в кожному інтерполяційному такті не одного, і відразу двох крокових приростів, що дозволяє до двох разів зменшити час формування крокової траєкторії кола.

- Вперше запропоновано метод антиаліазингу зображення крокових траєкторій кривих другого порядку, особливість якого полягає у використанні додаткових оцінювальних функцій, що дозволило спростити апаратну реалізацію.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено алгоритми та програми для колового інтерполювання. Запропоновано структурну схему для апаратної реалізації колового інтерполятора

Особистий внесок. Усі наукові результати отримано здобувачем самостійно. У працях, опублікованих у співавторстві, автору належать: аналіз методів колового інтерполювання [15]; алгоритм формування траєкторії кола [16], алгоритм формування крокових траєкторій [17], комп'ютерні програми [19, 20].

Апробація роботи матеріали магістерської кваліфікаційної роботи доповідались на:

- The 12 th International scientific and practical conference «IMPACT OF MODERNITY ON SCIENCE AND PRACTICE» (12-13 April, 2020). Edmonton, Canada 2020.
- Науково практичній конференції Молодь в науках: дослідження, проблеми, перспективи (Вінниця 2020р.).
- X Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Молодь у світі сучасних технологій», МССТ-2020, Херсон, 2020 р .
- XIV міжнародній науково- практичній конференції «Інформаційні технології і автоматизація» Одеса, 21-22 жовтня 2021р.

Публікації. За тематикою дослідження опубліковано 7 наукових праць, у тому числі 2 свідоцтва на реєстрацію авторського права на твір.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз методів колової інтерполяції

Дуги кіл, як і відрізки прямих, відносять до найбільш поширених графічних примітивів [1-6]. Існує декілька методів [2] завдання вихідних даних для кругового інтерполювання. Найчастіше вказують напрямок руху (за чи проти годинникової стрілки), прирости координат початкової та кінцевої точки дуги кола відносно його центру, а також координати початкової точки дуги в екранній системі координат (рис. 1.1).

При реалізації колового інтерполювання необхідно враховувати:

1. Коло є симетричною фігурою, що дозволяє суттєво скоротити час обчислення, оскільки для отримання всіх точок кола досить сформулювати їх лише для одного октанта.
2. Необхідно проводити аналіз переходу через границі октантів, оскільки при цьому змінюється напрямлення крокових приростів (рис. 1.2).
3. За рахунок похибки інтерполювання, а також округлень при визначенні початкової та кінцевої точок дуги існує ймовірність не попадання в кінцеву точку дуги, що обумовлює необхідність ведення в обчислювальний процес режиму доведення [1, 2] в кінцеву точку дуги.

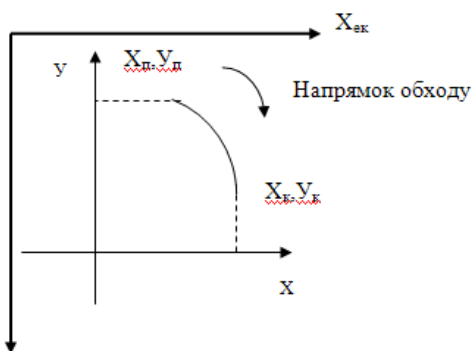


Рис. 1.1 Завдання дуги кола

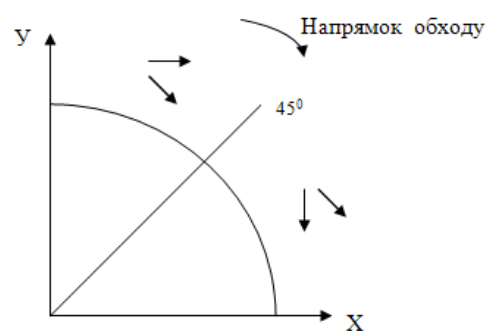


Рис. 1.2. Типи крокових приростів

Однією з можливих форм опису кола є завдання її в полярній системі координат [2]

$$X = X_c + R \cos Q, Y = Y_c + R \sin Q,$$

де X_c, Y_c - координати центра кола, R - радіус кола, Q - полярний кут.

Оскільки для обчислення координат точок кола X, Y необхідно задавати дискретні значення полярного кута, то виникає задача раціонального вибору кроку приросту цього кута - ΔQ . При малому кроці час побудови кола збільшується, але забезпечується висока точність відтворення кола. При великому значенні ΔQ якість відтворення погіршується, але час побудови зменшується.

Виходячи з дискретної структури растра, можна стверджувати, що мінімальна відстань між сусідніми точками кола не може бути меншим від 1. Отже всі точки кола, без пропусків, будуть відтворені, за умови, що крок приросту полярного кута обиратиметься із умови: $\Delta Q = 1/R$.

Для скорочення часу формування кола із обчислювальної процедури бажано виключити громіздке обчислення тригонометричних функцій $\cos Q$ і $\sin Q$. Для цього обчислимо чергову $i+1$ точку кола у вигляді:

$$X_{i+1} = R \cos (Q + \Delta Q), Y_{i+1} = R \sin(Q + \Delta Q).$$

Після заміни отримаємо:

$$X_{i+1} = X_c + (X_i - X_c) \cos \Delta Q - (Y_i - Y_c) \sin \Delta Q,$$

$$Y_{i+1} = Y_c + (X_i - X_c) \sin \Delta Q - (Y_i - Y_c) \cos \Delta Q.$$

Отримані рекурентні співвідношення для даного підходу забезпечують максимальну швидкість обчислень, так як значення $\sin \Delta Q$ і $\cos \Delta Q$ розраховуються лише один раз.

Одними з найбільш ранніх методів, запропонованих для відтворення кіл, є методи, засновані на рішенні диференціальних і різницевих рівнянь із застосуванням цифрових інтеграторів [1, 2].

Велика похибка інтерполяції обмежує їх застосування, незважаючи на простоту реалізації інтерполятора. Слід також зауважити, що важливою особливістю методів, заснованих на застосуванні цифрових інтеграторів, є сталість швидкості кругового руху точки по дузі кола для різних радіусів. При цьому кола різних радіусів реалізується за однаковий час, що в деяких випадках може призводити до істотного зменшення продуктивності інтерполятора. Підвищення продуктивності інтерполятора пов'язано з його ускладненням.

Згідно прямого методу [2, 13, 14] координати точок траєкторії кола визначаються з використанням виразу виду:

$$X^2 + Y^2 = R^2$$

де X, Y - поточні точки кола, а R - його радіус. При $X \geq Y$ значення абсциси послідовно збільшують на одиницю, а ординату обчислюють по формулі $Y = \sqrt{R^2 - X^2}$, а при $X < Y$ для поточного Y обчислюють значення $X = \sqrt{R^2 - Y^2}$. Похибка інтерполювання визначається кількістю розрядів, відведених для обчислення, а також способом округлення. Відносна складність обчислень суттєво обмежує застосування приведених методів.

Круговий інтерполятор з використанням постійної пам'яті [1, 7] апроксимує дугу кола за допомогою лінійної інтерполяції [1, 12, 13]. Недоліками такого інтерполятора є: необхідність досить великої кількості ділянок апроксимації для забезпечення високої точності, що призводить до наявності постійної пам'яті досить великої ємності; наявність похибок за рахунок апроксимації дуги ломаної; необхідність в корекції накопиченої похибки.

Для реалізації функції колового інтерполювання найбільш часто використовують метод оцінювальної функції [1-6, 8-10, 12-15]. Вид оцінювальної функції вибирають таким чином, щоб всередині та за колом вона мала протилежні знаки, а на самому колі - нульове. Таким вимогам відповідає функція виду:

$$U_{ij} = X^2 + Y^2 - R^2.$$

При $U \geq 0$ (рис. 1.3) виконують інтерполяційний крок вздовж осі Y , а при $U < 0$ - вздовж осі X . Після кроку по осі X нове значення оцінювальної функції знаходять, підставляючи в формулу для U_{ij} замість X_i величину:

$$X_{i+1} = X_i + 1.$$

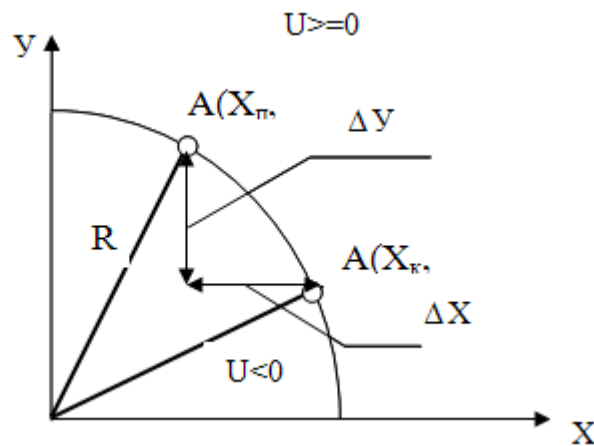


Рис. 1.3. Принцип формування оцінювальної функції

Тоді

$$U_{i+1,j} = (X_i + 1)^2 + Y_i^2 - R^2 = X^2 + Y^2 - R^2 + 2X_i + 1 = U_{ij} + 2X_i + 1.$$

Після кроку по осі Y нове значення оцінювальної функції можна визначити, підставивши у формулу для U_{ij} замість Y_i величину $Y_{i+1} = Y_i - 1$

Тоді значення оцінювальної функції після кроку по осі Y , буде дорівнювати:

$$U_{i+1,j} = X_i + (Y_i - 1)^2 - R^2 = U_{ij} - 2Y_i + 1.$$

Таким чином, після кроку по осі X до значення оцінювальної функції необхідно додати величину $2X_i + 1$, а після кроку по осі Y величину $-2Y_i + 1$.

Таким чином, у будь-якому випадку додається одиниця і прямий чи

доповняльний код величин $2X_i, 2Y_i$. Після цього необхідно скорегувати значення X_i, Y_i для одержання $X_{i+1} = X_i + 1, Y_{i+1} = Y_i - 1$

При реалізації алгоритму з восьмивекторною орієнтацією крокових приростів діагональний крок формують шляхом одночасного елементарного переміщення по обом координатам. У цьому випадку нове значення оцінювальної функції обчислюють по формулі:

$$U_{i+1,j} = U_{ij} + 2X_i + 1 - 2Y_i + 1 = U_{ij} + 2(X_i - Y_i) + 2.$$

Модуль максимальної похибки такого алгоритму інтерполяції як і у випадку інтерполяції з відокремлюваними кроками наближається до значення, рівному кроці дискретизації.

У роботі [1] розглянуто метод кругової інтерполяції який дозволяє підвищити точність кругової інтерполяції. Цей метод заснований на обчисленні оціночної функції в двох точках і виконанні інтерполяційного кроку в тому напрямку, де досягається менше абсолютне значення оціночної функції. Такий метод забезпечує найбільш точне відтворення кола в дискретному координатному просторі. Недоліком його є відносна складність визначення напрямку виконання інтерполяційного кроку, так як для кожного інтерполяційного кроку потрібно два обчислення оціночної функції та порівняння отриманих значень. Одночасне обчислення оціночних функцій на різних операційних пристроях дозволяє поєднувати високу точність методу з високою швидкістю, однак вимагає істотного ускладнення інтерполятора. Послідовне обчислення оціночних функцій на одному операційному пристрої знижує швидкість інтерполятора майже в два рази порівняно з методом, де використовують одне обчислення оціночної функції

1.2 Алгоритм Брезенхема для генерації кола

Існують кілька версій алгоритму Брезенхема [2, 12, 15] для генерації кола. Вони мають ряд загальних ознак. Так, у всіх цих версіях спочатку

покроково генерується одна восьма частина кола, розташована у другому октанті координатної площині, за умови, що центр кола суміщено в початок системи координат.

Розглянемо побудову кола з точки $(x = 0, y = R)$ за годинниковою стрілкою.

При цьому y є монотонно спадною функцією x . Інші ділянки кола добудовуються послідовними симетричними відображеннями. У всіх випадках використовується цілочисельна математика. В алгоритмі Брезенхема, як і в усіх інших алгоритмах використовуються не чисельні значення, а тільки знаки оцінювальних функцій, що спрощує і прискорює обчислення. Розглянемо версію алгоритму. Теоретичні положення, на яких базується перша версія алгоритму Брезенхема, придатні для побудови чверті (а не однієї восьмої частини) кола в першому квадранті. При знаходженні в цьому квадранті в деякій поточній точці растра з координатами (x_i, y_i) є тільки три варіанти вибору поточного пікселя (рис.1.4): по горизонталі вправо (напрямок H), по діагоналі вниз і вправо (напрямок D) і по вертикалі вниз (напрямок V). Разом з тим, в кожній такій ситуації можливі п'ять типів перетинів реальної кола і сітки растра (рис. 1.4).

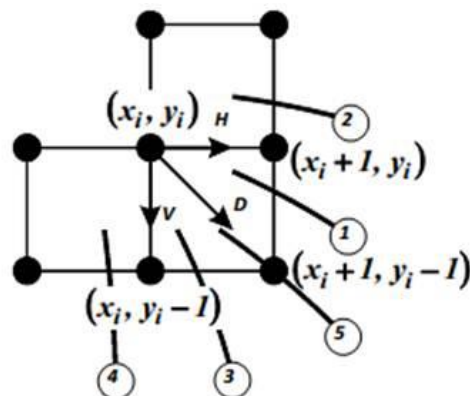


Рис.1.4 Вибір пікселя для апроксимації кола

В якості першого критерію для вибору чергового кроку використовується різниця між квадратами відстаней від центру кола до діагональної (по відношенню до поточної) точки, тобто точки з координатами

$(x_i + 1, y_i - 1)$, і до реальної кола:

$$\Delta_i = (x_i + 1)^2 + (y_i - 1)^2 - R^2.$$

При $\Delta_i < 0$ діагональна точка знаходиться всередині кола, тобто це випадки перетину 1 або 2. Ясно, що в даній ситуації слід вибрати або точку $(x_i + 1, y_i)$, тобто крок H, або точку $(x_i + 1, y_i - 1)$, тобто крок D.

Другим критерієм переходу при таких умовах є величина:

$$\delta = ((x_i + 1)^2 + y_i^2 - R^2) - ((x_i + 1)^2 + (y_i - 1)^2 - R^2)$$

При $\delta \leq 0$ відстань від кола до горизонтальної точки не більше відстані до діагональної точки, і слід вибирати горизонтальну точку, тобто крок H.

При $\delta > 0$ вибирається діагональна точка, тобто крок D, тому що відстань від кола до неї менша. Разом з тим, при варіанті перетину 1 (див. Рис. 1.4)

$$(X_i + 1)^2 + y_i^2 - R^2 \geq 0, (x_i + 1)^2 + (y_i - 1)^2 - R^2 < 0,$$

тому що горизонтальна точка лежить поза або на колі, а діагональна - всередині неї, тому δ можна обчислити за формулою:

$$\delta = (x_i + 1)^2 + y_i - R^2 + (x_i + 1)^2 + (y_i - 1)^2 - R^2 ;$$

або (після перетворення з урахуванням виразу для Δ_i :

$$\delta = 2(\Delta_i + y_i) - 1$$

При варіанті перетину 2 (див. рис.1.4) відстань від кола до горизонтальної точки безумовно менша відстані від неї до діагональної

точки, і вибирати слід горизонтальну. При цьому обидві точки лежать всередині кола, тому:

$$(X_i + 1)^2 + y_i^2 - R^2 \geq 0, (x_i + 1)^2 + (y_i - 1)^2 - R^2 < 0,$$

для розрахунку δ можна використовувати ту ж формулу, що і при варіанті 1, тому що вона дає свідомо негативне значення.

Якщо $\Delta_i > 0$, то діагональна точка знаходиться поза колом, тобто це випадки перетину 3 або 4. Вибирати слід яку точку $(x_i + 1, y_i - 1)$, тобто крок D, або точку $(x_i, y_i - 1)$ тобто крок V.

Можна показати (аналогічно тому, як це було зроблено для попереднього випадку), що критерієм для вибору при цьому є величина

$$\delta = 2(\Delta_i + y_i) - 1$$

при $\delta \leq 0$ вибирається діагональна точка, тому що відстань від кола до неї не більше, ніж до вертикальної (по відношенню до поточної);

при $\delta > 0$ вибирається вертикальна точка, тому що відстань від кола до неї менше, ніж до діагональної.

Очевидно, що при $\Delta_i = 0$ діагональна точка $(x_i + 1, y_i - 1)$, розташована безпосередньо на кола (варіант перетину 5 на рис.1.4), і вибирається саме вона.

Якщо згенерована чверть кола в першому квадраті, для побудови повного кола цю чверть слід симетрично відобразити відносно осей x і y і точки початку координат, тобто активізувати не тільки вибрані пікселі (x_i, y_i) а й симетричні їм пікселі

$$(x_i - y_i) (-x_i > y_i) \text{ і } (-x_i > -y_i).$$

Висновки

Проведений аналіз показав, що найбільш доцільно розробляти методи та засоби комп'ютерної графіки на основі оцінювальної функції. Це обумовлено простотою обчислювального процесу, використання простих мікрооперацій, високою точністю інтерполювання, простотою програмної та апаратної реалізації.

2 МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ КОЛОВОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ

2.1. Метод колової інтерполяції на основі оцінювальної функції

Оцінювальна функція $O\Phi_i$ при коловій інтерполяції в точці (x_i, y_i) визначається різницею [1, 2, 3, 7, 8, 12, 13, 15]

$$O\Phi_i = (x_i^2 + y_i^2) - R^2, \quad (2.1)$$

де R – радіус кола. Різниця від’ємна для кожної точки, яка лежить всередині кола, додатна для кожної точки, яка лежить зовні цього кола, і дорівнює нулю для всіх точок кола. Така властивість оцінювальної функції дозволяє залежно від знаку $O\Phi_i$ з урахуванням місцеположення точки відносно системи координат і напрямку руху здійснювати в дискретному координатному просторі одиничний приріст у напрямку зміни знаку оцінювальної функції, що дає можливість наблизити траєкторію точки зображення до відтворюваного кола. Якщо при цьому одиничні прирости по кожній координаті здійснюються в різні тактові моменти часу, то виконується інтерполяція з роздільними кроками.

Швидкість інтерполяції можна підвищити, суміщаючи рух по двох координатах [1]. Для цього обчислюють оцінювальну функцію з прогнозованим кроком і за її знаком здійснюють одиничний приріст або по одній координаті, або по двох. В першому октанті першого квадранта з рухом проти годинникової стрілки при виконанні умови $O\Phi_i \geq 0$ здійснюється прогнозований крок по двох координатах

$$O\Phi_{i+1} = O\Phi_i + 2y_i - 2x_i + 2. \quad (2.2)$$

Якщо ж $O\Phi_i < 0$, то виконується прогнозований крок по осі OY

$$O\Phi_{i+1} = O\Phi_i + 2y_i + 1. \quad (2.3)$$

Дійсні кроки виконуються згідно з умовами: якщо $O\Phi_{i+1} \geq 0$, то $x_{i+1} = x_i - 1$, $y_{i+1} = y_i + 1$; якщо ж $O\Phi_{i+1} < 0$, то $x_{i+1} = x_i$, $y_{i+1} = y_i + 1$. Модуль максимальної похибки такого алгоритму інтерполяції, як і в випадку інтерполяції з роздільними кроками, наближається до кроку дискретизації.

У [1] запропоновано метод колової інтерполяції, який дозволяє підвищити точність. Він оснований на обчисленні оцінювальної функції в двох точках і виконанні інтерполяційного кроку в тому напрямі, де менше абсолютне значення оцінювальної функції. Недоліком такого методу є відносна складність визначення напрямку виконання Інтерполяційного кроку, тому що з кожним кроком потрібно два рази обчислювати оцінювальну функцію і потім порівнювати її абсолютні значення.

У магістерській кваліфікаційній роботі пропонується модифікація методу оцінювальної функції при колової інтерполяції, яка дозволяє зменшити величину максимальної похибки до половини кроку дискретизації при одному обчисленні оцінювальної функції з кожним інтерполяційним кроком.

Покажемо, що це можливо. Нехай крок дискретизації дорівнює одиничному приросту координати, а центр кола збігається з початком координат. Обмежимося спочатку першим октантом першого квадранта і напрямом руху проти годинникової стрілки. Додатному приросту оцінювальної функції відповідає одиничний приріст вздовж осі ОУ $y_{i+1} = y_i + 1$; $x_{i+1} = x_i$. Від'ємному приросту оцінювальної функції відповідають: одиничний приріст по осі ОХ ($x_{i+1} = x_i - 1$; $y_{i+1} = y_i$) і одиничний приріст по двох координатах ($x_{i+1} = x_i - 1$; $y_{i+1} = y_i + 1$), причому одночасний рух по двох координатах дозволяє підвищити швидкодію і точність інтерполятора.

Вважаючи, що в початковій точці відхилення від кола не перевищує половини кроку дискретизації, покажемо, що за цієї умови один із двох інтерполяційних кроків (крок вздовж осі ОУ або суміщений крок по двох

координатах) приводить у точку, яка відхилена від кола не більше, як на половину кроку дискретизації. На рис. 2.1 зображені варіанти виконання інтерполяційних кроків з такою умовою. Тут δ_0 , δ_1 і δ_2 – відхилення точок 0, 1 і 2 від кола; R – радіус кола; R_0 , R_1 і R_2 – радіуси кіл, які проходять через точки 0, 1 і 2; інтерполяційний крок, який приводить в точку, відхилену не більше, як на половину кроку дискретизації, показаний суцільною лінією, інший інтерполяційний крок показаний штриховою лінією.

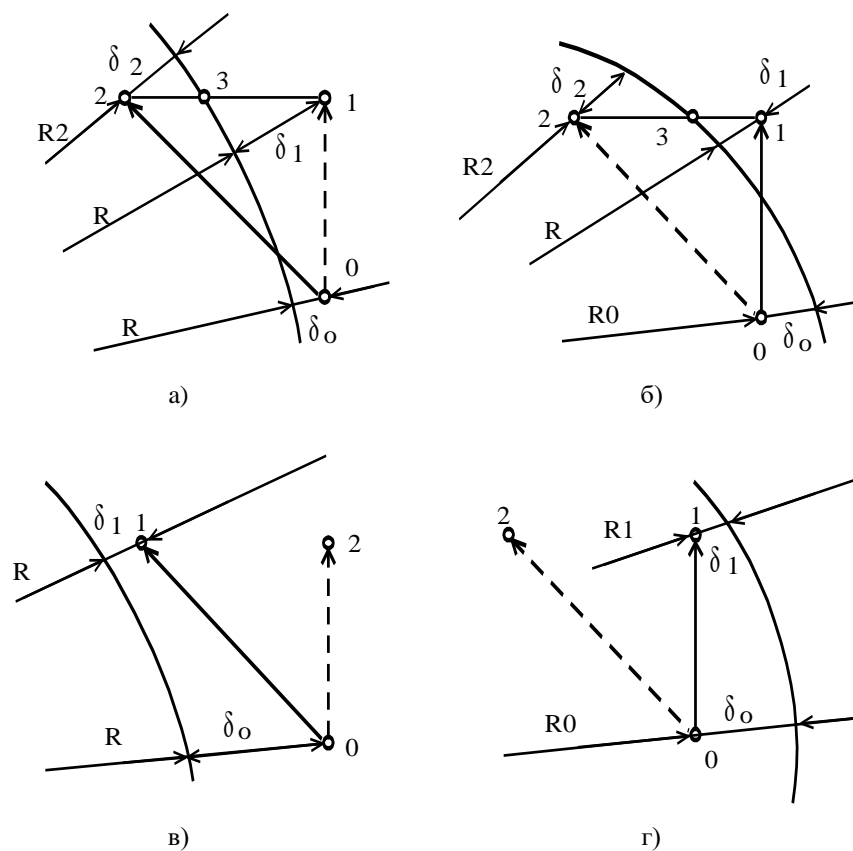


Рис. 2.1. Варіанти виконання інтерполяційних кроків

Якщо точки 1 і 2, які відповідають інтерполяційним крокам, розміщені з різних боків від лінії кола (рис. 2.1 а, б), $\delta_1 + \delta_2 < 1$, тому що відстань між точками 1 і 2 дорівнює 1, $\delta_1 < l_{13}$, $\delta_2 < l_{23}$, де l_{13} і l_{23} відповідно відстань між точками 1 і 3, 2 і 3 (точка 3 лежить на перетині кола з лінією, яка з'єднує

точки 1 і 2). Звідси випливає, що δ_1 або δ_2 менше $1/2$. Якщо ж точки 1 і 2 розміщені з одного боку від лінії кола (рис. 29в, г), то $\delta_1 < \delta_0$, що очевидно. А оскільки $\delta_0 < 1/2$, то і $\delta_1 < 1/2$.

Враховуючи, що початкова точка лежить на лінії кола, можна стверджувати, що в першому октанті першого квадранту з напрямом руху проти годинникової стрілки можлива інтерполяція кола з точністю, коли максимальна похибка не перевищує половини кроку дискретизації. За аналогією можна довести справедливість подібного твердження для інших октантів і для обох напрямів руху.

Визначимо необхідні і достатні умови для алгоритму, який забезпечує таку точність інтерполяції. Для довільної точки площини (x_i, y_i) справедлива рівність

$$\delta_i = R_i - R, \quad (2.4)$$

де R_i – радіус кола, яке проходить через точку (x_i, y_i) . Згідно з (41)

$$O\Phi_i = R_i^2 - R^2. \quad (2.5)$$

Виходячи з (2.4) вираз (45) можна записати у вигляді

$$O\Phi_i = \delta_i^2 + 2R\delta_i. \quad (2.6)$$

Розв'язок рівняння (2.6) відносно δ_i має вигляд

$$\delta_i = -R \pm \sqrt{R^2 + O\Phi_i}. \quad (2.7)$$

Поставивши умову $|\delta_i| < 1/2$, отримаємо нерівність

$$\left| -R \pm \sqrt{R^2 + O\Phi_i} \right| < 1/2. \quad (2.8)$$

Для $O\Phi_i \geq 0$ нерівність (48) можна записати у вигляді двох нерівностей

$$-R + \sqrt{R^2 + O\Phi_i} < 1/2; \quad (2.9)$$

$$R + \sqrt{R^2 + O\Phi_i} < 1/2. \quad (2.10)$$

Нерівність (2.10) відносно $O\Phi_i$ розв'язку не має, тому що $R \geq 1$. Нерівність (2.9) має такий розв'язок: $O\Phi_i < R + 1/4$. Якщо ж $O\Phi_i < 0$, нерівність (2.8) також можна записати у вигляді двох нерівностей (2.10) і нерівності

$$R - \sqrt{R^2 + O\Phi_i} < 1/2. \quad (2.11)$$

Розв'язок (2.11) відносно $O\Phi_i$ має вигляд: $O\Phi_i > -R + 1/4$. У загальному вигляді розв'язок нерівності (2.8) запишеться так:

$$-R + 1/4 < O\Phi_i < R + 1/4. \quad (2.12)$$

З (2.12) випливає, що діапазон зміни оцінювальної функції при виконанні умови $|\delta_i| < 1/2$ складає $2R$. Із виразів (2.2) і (2.3) випливає, що за один інтерполяційний крок величина оцінювальної функції змінюється не більше, як на $2R - 2$. Враховуючи це, а також те, що один із двох чітко визначених інтерполяційних кроків приводить у точку, яка відхилена від лінії кола не більше, як на половину кроку дискретизації, нерівність (2.12) за умови початкового значення оцінювальної функції ($O\Phi_0$) можна подати однією з двох нерівностей:

$$O\Phi_i \geq 0 \quad \text{якщо } O\Phi_0 = R + 1/4; \quad (2.13)$$

$$O\Phi_i < 0 \quad \text{якщо } O\Phi_0 = -R + 1/4. \quad (2.14)$$

Розрізнятимемо прогнозовані і дійсні інтерполяційні кроки. З прогнозованим кроком оцінювальна функція обраховується в точці, що відповідає напрямку руху, який сприяє зміні знака оцінювальної функції на протилежний. Дійсний крок виконується з урахуванням знака оцінювальної функції, отриманої в результаті виконання прогнозованого кроку. Алгоритм

інтерполяції доцільно побудувати таким, щоб для обчислення оцінювальної функції з прогнозованим кроком використовувались координати точки, отриманої в результаті останнього дійсного кроку. Зазначимо, що оцінювальна функція при такому підході характеризує відхилення точок, отриманих у результаті виконання прогнозованих, а не дійсних кроків, тому порушення нерівності (2.13) або (2.14) свідчить про порушення умови $|\delta_i| < 1/2$ для прогнозованої точки. При цьому дійсний інтерполяційний крок не збігається з прогнозованим і для дійсної точки умова $|\delta_i| < 1/2$ не порушується.

Розглянемо інтерполяцію кола в першому октанті першого квадранта з напрямом руху проти годинникової стрілки. Нехай $O\Phi_0 = R + 1/4$. Тоді першим виконується прогнозований діагональний крок

$$O\Phi_1 = O\Phi_0 + 2y_0 - 2x_0 + 2.$$

Якщо $O\Phi_1 < 0$, то $|\delta_1| < 1/2$, і дійсний крок потрібно виконувати в напрямі осі ОУ. При цьому дійсна точка не збігається з прогнозованою. Наступний прогнозований крок виконується в напрямі осі ОУ $O\Phi_2 = O\Phi_1 + 2y_1 + 1$. У даному випадку під час обчислення оцінювальної функції можна користуватися координатами дійсної точки, оскільки ординати прогнозованої і дійсної точок попереднього кроку збігаються.

Прогнозовані і дійсні кроки в напрямі осі ОУ виконуються до тих пір, поки значення $O\Phi_i$ не стане додатним. Це означає, що для прогнозованої точки справедлива нерівність $|\delta_i| < 1/2$. Дійсним виконується діагональний крок, у результаті якого координати прогнозованої і дійсної точок збіжаться, що дозволяє використовувати координати дійсної точки для наступного прогнозованого діагонального кроку. Якщо ж у результаті першого прогнозованого діагонального кроку $O\Phi_1 \geq 0$ ($|\delta_1| > 1/2$), то виконується

дійсний діагональний крок і для наступного прогнозованого діагонального кроку також можна використовувати координати дійсної точки.

У випадку, коли $O\Phi_0 = -R + 1/4$, перший прогнозований крок виконується в напрямі осі ОУ: $O\Phi_1 = O\Phi_0 + 2y_0 + 1$. Прогнозовані і дійсні кроки виконуються в напрямі осі ОУ до тих пір, поки знак $O\Phi_i$ не стане додатним, що відповідає умові $|\delta_i| > 1/2$. При цьому виконується дійсний діагональний крок. Прогнозована і дійсна точки не збігаються, і для наступного прогнозованого діагонального кроку координати дійсної точки використовувати не можна, тому що буде допущена додаткова похибка.

Виконуючи подібний аналіз для кожного октанта, визначаємо, що початкові значення оцінювальної функції, з якими для прогнозованих кроків можна використовувати координати дійсної точки, такі: $R + 1/4$ – для октантів 1, 3, 5, 7 з рухом проти годинникової стрілки і для октантів 2, 4, 6, 8 з рухом за годинниковою стрілкою; $-R + 1/4$ – для октантів 2, 4, 6, 8 з рухом проти годинникової стрілки і для октантів 1, 3, 5, 7 з рухом за годинниковою стрілкою. Звідси випливає, що в кожному октанті з певним початковим значенням оцінювальної функції для її обчислення можна використовувати координати дійсної точки без допущення додаткової похибки, причому початкові значення оцінювальної функції різні для сусідніх октантів.

Виходячи з наведеного вище, можна було б запропонувати алгоритм колової інтерполяції з однією початковою установкою і корекцією оцінювальної функції при переході з одного октанта в інший. Недоліками такого алгоритму є необхідність корекції оцінювальної функції при переході з одного октанта в інший і залежність величини початкового значення оцінювальної функції від місцеположення початкової точки.

Цих недоліків можна уникнути, враховуючи незбіжність прогнозованої і дійсної точок перед прогнозованим діагональним кроком у виразі для обчислення оцінювальної функції, оскільки в цьому випадку прогнозована і

дійсна точки відрізняються на одиницю значенням тільки однієї координати. Для першого октанта з рухом проти годинникової стрілки і початковим значенням оцінювальної функції $O\Phi_0 = -R + 1/4$ отримуємо вираз для оцінювальної функції діагонального прогнозованого кроку

$$O\Phi_{i+1} = O\Phi_i + 2y_i - 2(x_i + 1) + 2 = O\Phi_i + 2y_i - 2x_i.$$

Аналогічні вирази можна отримати для інших октантів з обома напрямками руху.

На рис. 2.2 показані інтерполяційні кроки і вирази для розрахунку ОФ в кожному октанті з рухом проти годинникової стрілки (рис. 2.2 а) і з рухом за годинниковою стрілкою (рис. 2.2б).

Нехай $O\Phi_0 = R + 1/4$.

Для повної визначеності алгоритму інтерполяції необхідно визначити умови переходів з одного октанта в інший. Це пов'язано з тим, що незбіжність дійсних кроків з прогнозованими враховується при обчисленні оцінювальної функції.

У випадку переходу з першого октанта в другий (рух проти годинникової стрілки) можливі такі варіанти переходу.

1. Прогнозований діагональний крок приводить у точку $x_i = y_i$, яка лежить всередині кола, обмеженого радіусом $R - 1/2$ (рис.2.3а). Одержане значення оцінювальної функції від'ємне і дійсний крок виконується в напрямі осі ОУ, причому цей крок ще не досягає другого октанта і наступний прогнозований крок (точки 2, 4) виконується за правилами першого октанта. В точці 4 значення оцінювальної функції додатне, тому виконується дійсний діагональний крок, який приводить в точку 4 і досягає другого октанта. Збігання в точці 4 прогнозованої і дійсної точок є необхідною і достатньою умовою для подальшого обчислення оцінювальної функції за правилами другого октанта.

2. Прогнозований діагональний крок приводить у точку області,

обмеженої колами радіусів $R-1/2$ і $R+1/2$ (рис. 2.3б). У цьому випадку дійсним виконується також діагональний крок і в другому октанті (або на межі октантів) прогнозована і дійсна точки збігаються.

3. Прогнозований крок вздовж осі ОУ приводить на межу октанта (рис. 2.3в). Дійсним виконується діагональний крок і прогнозована точка також збігається з дійсною.

При переході з другого октанта в третій (рух проти годинникової стрілки) можливі такі варіанти переходу.

1. Прогнозований діагональний крок досягає межі переходу (рис. 2.3г). Тоді дійсним виконується крок вздовж осі ОХ і дійсна точка збігається з прогнозованою.

2. Прогнозований крок вздовж осі ОХ приводить у точку області, обмеженої колом радіуса $R-1/2$ (рис. 2.3 д). Враховуючи від'ємне значення оцінювальної функції в точці 2, дійсним виконують діагональний крок і дійсна точка не збігається з прогнозованою на межі октанта (точки 2 і 3 на рис. 2.3 д). Але наступний прогнозований крок повинен виконуватися в напрямі осі ОХ (у точці 2 значення оцінювальної функції від'ємне), тому в даному випадку для прогнозованого кроку можна скористатись координатами дійсної точки, тому що абсциси точок 2 і 3 збігаються. В точці 4 значення оцінювальної функції додатне (таке ж, як і в точці 1) і дійсний діагональний крок приводить у точку 4, де координати прогнозованої і дійсної точок збігаються.

3. Прогнозований крок вздовж осі ОХ приводить у точку 2 (рис. 2.3 е), де значення оцінювальної функції додатне і дійсний крок збігається з прогнозованим.

Решта переходів через межі октантів під час руху проти годинникової стрілки аналогічні розглянутим вище. У цьому можна впевнитись, накладаючи перший квадрант на другий, третій і четвертий, враховуючи аналогію в виконанні кроків (див. рис. 2.2).

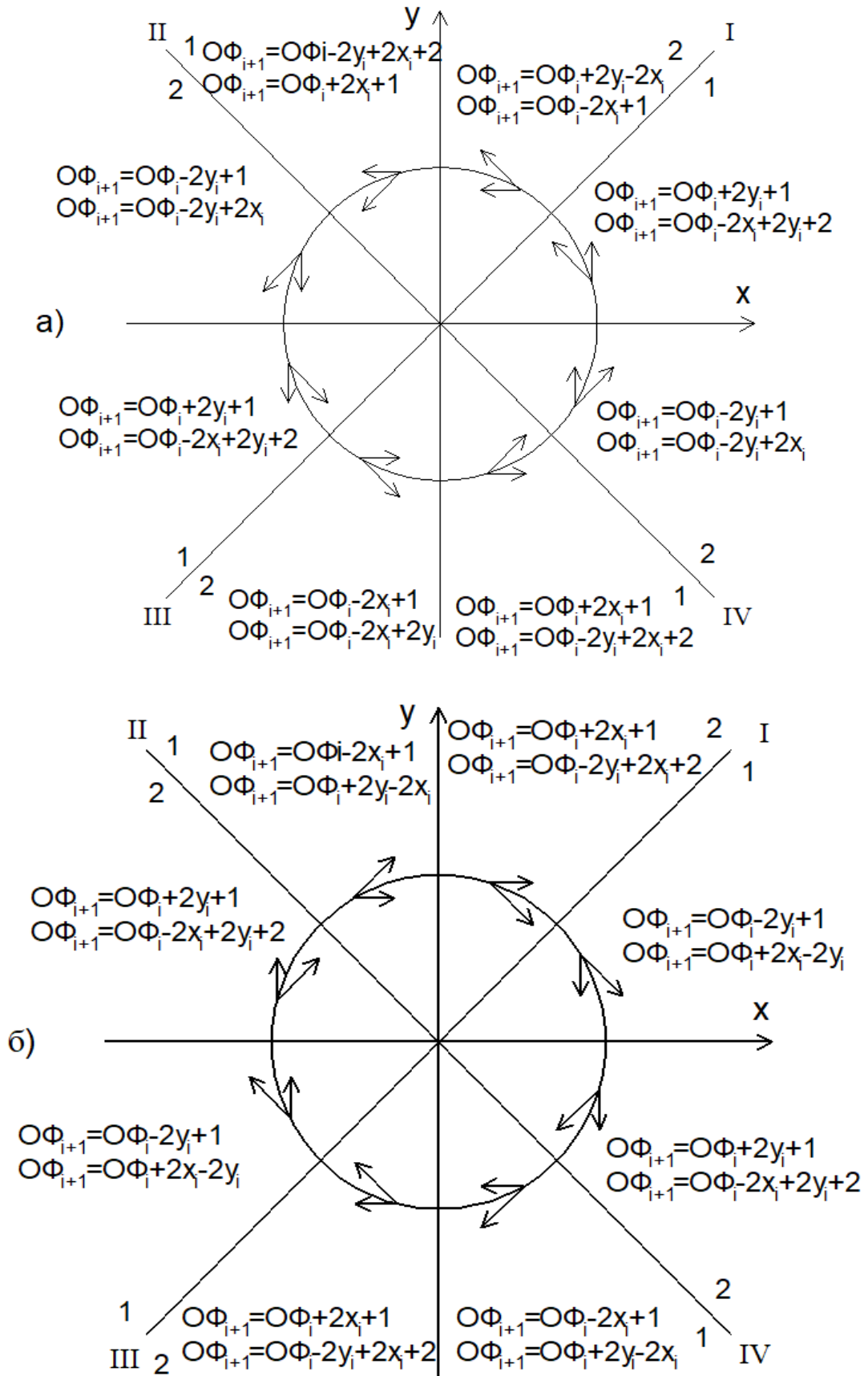


Рис. 2.2. Інтерполяційні кроки та вирази для розрахунку оцінювальної функції

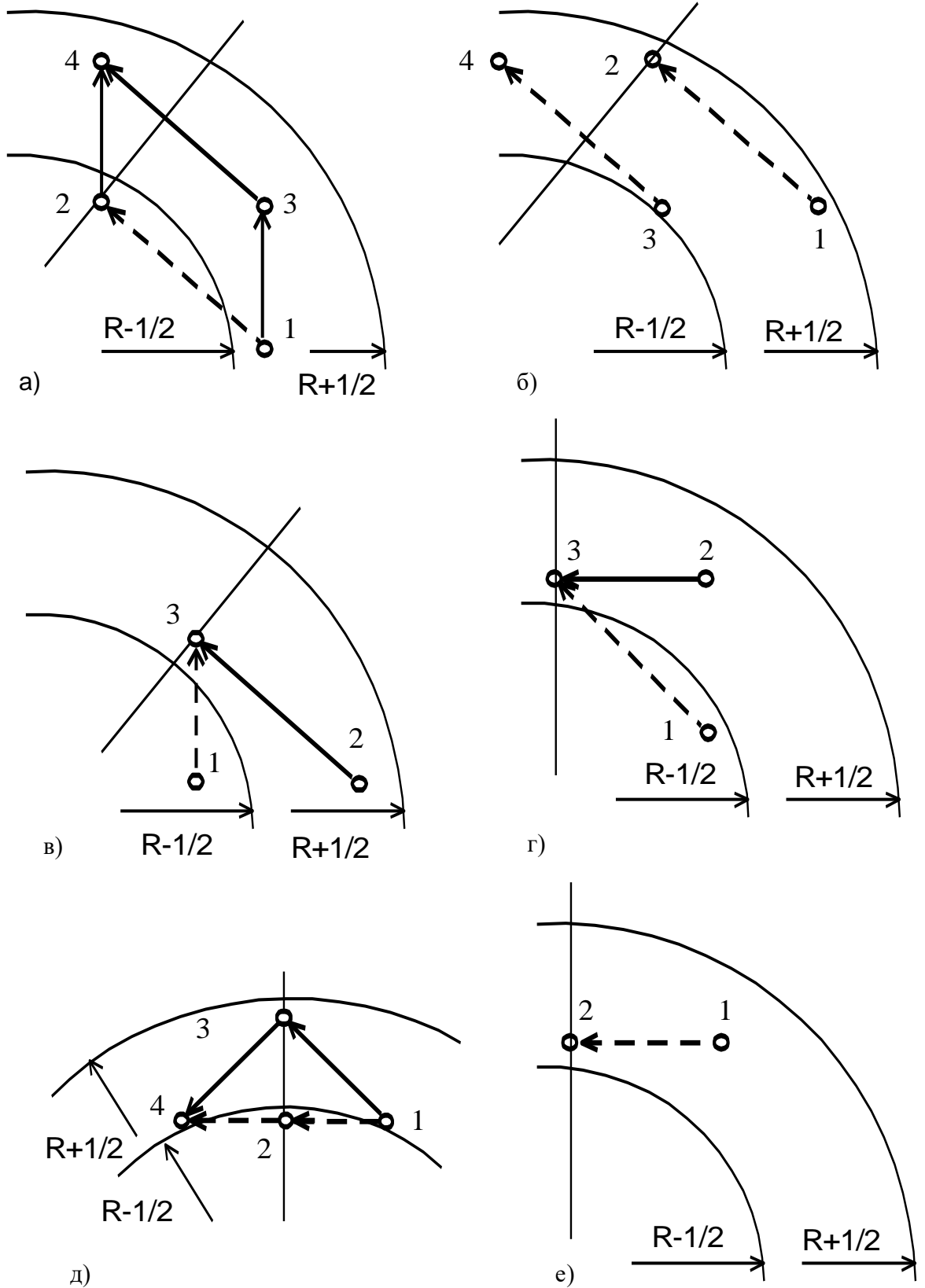


Рис. 2.3. Варіанти переходу між октантами

Під час руху за годинниковою стрілкою переходи через межі октантів також аналогічні розглянутим вище, тому що дзеркальне відображення фігури, показаної на рис. 2.2 б, відносно осі ОХ являє собою фігуру, зображену на рис. 2.2 а.

У результаті проведеного дослідження пропонується такий алгоритм колової інтерполяції:

1) початкове значення оцінювальної функції приймається рівним $R + 1/4$ (оскільки оцінювальна функція обчислюється в цілих числах, це значення може дорівнювати R);

2) залежно від місцезнаходження поточної точки виконується прогнозований крок у тому напрямі, який сприяє зміні знаку оцінювальної функції (вибирається один з двох кроків, вказаних на рис. 2.2; оцінювальна функція обчислюється згідно з виразами, показаними на рис. 2.2);

3) виконується дійсний крок (один з двох, показаних на рис. 2.2) залежно від знаку оцінювальної функції, обчисленої при виконанні прогнозованого кроку, і місцезнаходження поточної точки;

4) кроки 2 і 3 цього алгоритму виконуються до тих пір, поки не буде відпрацьована потрібна дуга кола.

За таким алгоритмом інтерполяції прогнозовані кроки відстежують коло радіуса $R - 1/2$. Подібний алгоритм можна було б запропонувати для випадку, коли $O\Phi_0 = -R + 1/4$. Тоді прогнозовані кроки відстежували б коло радіуса $R + 1/2$. В обох випадках максимальне відхилення дійсної точки від лінії кола не перевищує половини кроку дискретизації.

Слід також зазначити, що з кожним інтерполяційним кроком оцінювальна функція обчислюється тільки один раз, що, порівняно з методом, розглянутим в [1], суттєво підвищує швидкість інтерполятора (у два рази при обчисленнях обох оцінювальних функцій на одному операційному пристрої), або дозволяє вдвічі скоротити апаратні витрати операційного пристрою при збереженні тієї ж швидкості.

У своїх міркуваннях при викладенні матеріалу було зроблено припущення, що початкова точка, задана в цілих числах, лежить на лінії кола. В більш загальному випадку, коли коло визначене точніше, в початковому значенні оцінювальної функції необхідно також врахувати величину оцінювальної функції, яка відповідає відхиленню початкової точки, заданої в цілих числах, від лінії кола.

2.2. Метод колової інтерполяції з формуванням у кожному такті двох координатних приростів

Для підвищення швидкодії пропонується новий підхід до реалізації функції колової інтерполяції на основі методу оцінювальної функції, який базуються на стохастичному розподілі координатних приростів залежно від ділянки інтерпольованої траєкторії.

Розглянемо коло з центром у початку координат. Канонічне рівняння кола має вигляд [15, 16]:

$$x^2 + y^2 = R^2, \quad (2.15)$$

де x, y – координати поточної точки; R – радіус кола. Коло симетричне відносно осей координат та бісектрис координатних кутів, тому достатньо дослідити восьму частину траєкторії.

Розглянемо другий октант декартової координатної площини у напрямку обходу кола за годинниковою стрілкою.

Побудова двох послідовних діагональних кроків при інтерполюванні кола має місце під час проходження траєкторії через заштриховану область (рис. 2.4), за умови, що точки кола V і W належать відповідно інтервалам $[m, k]$, $[l, n]$.

Внаслідок того, що крива в заштрихованій зоні може проходити під різними кутами нахилу, визначено граничні випадки (рис. 2.5), за умови, що похибка інтерполювання не перевищує половини кроку дискретизації.

Визначимо умови початку формування двох послідовних діагональних

кроків для кожного випадку, зображеного на рис. 2.5.

Умовою побудови подвійного діагонального кроку для випадку, зображеного на рис. 2.5а, буде проходження ідеальної кривої через точки $m(x, y+0,5)$ і $l(x+2, y-1,5)$.

Координати цих точок задовольнятимуть рівняння (55). Таким чином, одержимо таку систему рівнянь:

$$\begin{aligned} x^2 + (y+0,5)^2 &= R^2; \\ (x+2)^2 + (y-1,5)^2 &= R^2. \end{aligned} \quad (2.16)$$

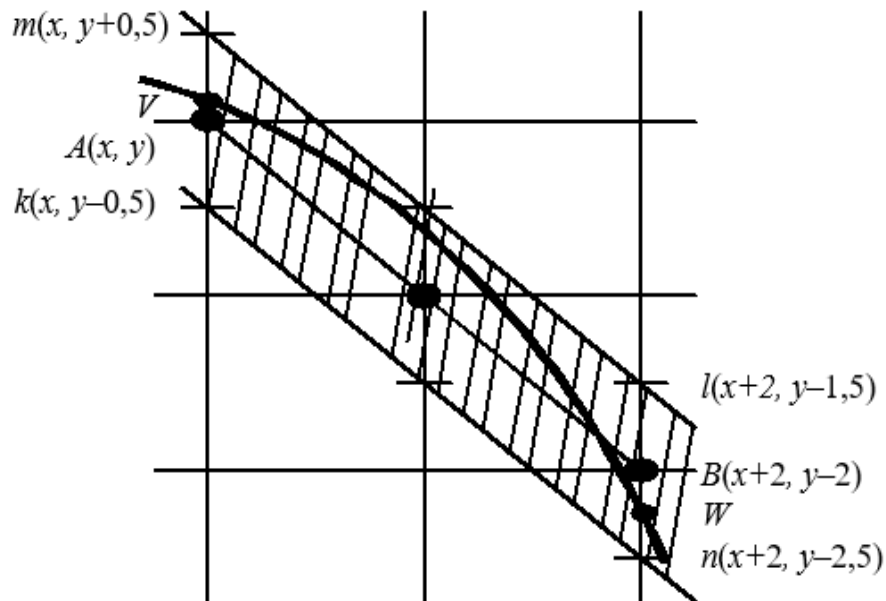


Рис. 2.4. Зона формування двох послідовних діагональних кроків

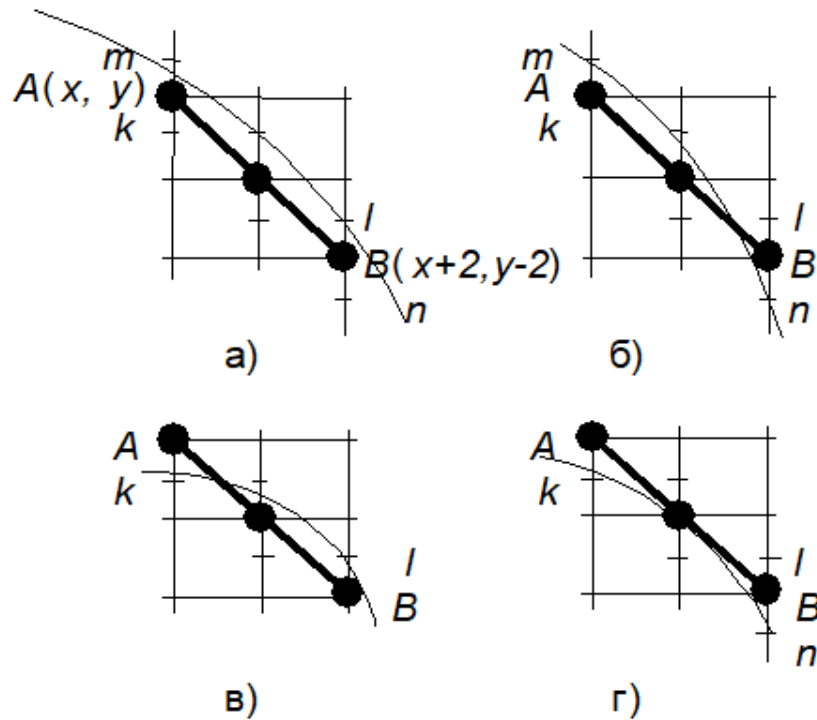


Рис. 2.5. Граничні варіанти формування двох послідовних діагональних приростів залежно від характеру проходження траєкторії

Розв'язуючи систему рівнянь (2.16), одержимо значення абсциси точки крокової траєкторії, починаючи з якої можлива поява двох послідовних діагональних кроків

$$x = y - 3/2. \quad (2.17)$$

Відповідно до рис. 2.5 аналогічно визначаються умови для решти випадків (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Умови формування двох послідовних діагональних кроків

Рисунок	Вузлові точки	Умова
а)	$m(x, y + 0,5),$ $l(x + 2, y - 1,5)$	$x \geq y - 3/2$
б)	$m(x, y + 0,5),$ $n(x + 2, y - 2,5)$	$x \geq y - 3/2$ $y - 5/2$

в)	$k(x, y - 0,5),$ $l(x + 2, y - 1,5)$	$x \geq y/2 - 3/2$
г)	$k(x, y - 0,5),$ $n(x + 2, y - 1,5)$	$x \geq y - 5/2$

Точка, для якої виконується умова

$$x \geq y/2 - 3/2 \quad (2.18)$$

є граничною, оскільки розміщена лівіше по відношенню до всіх інших випадків, зведених в 2.1. Ця точка розділить октант на два сектори $S1$ та $S2$ (рис. 2.6).

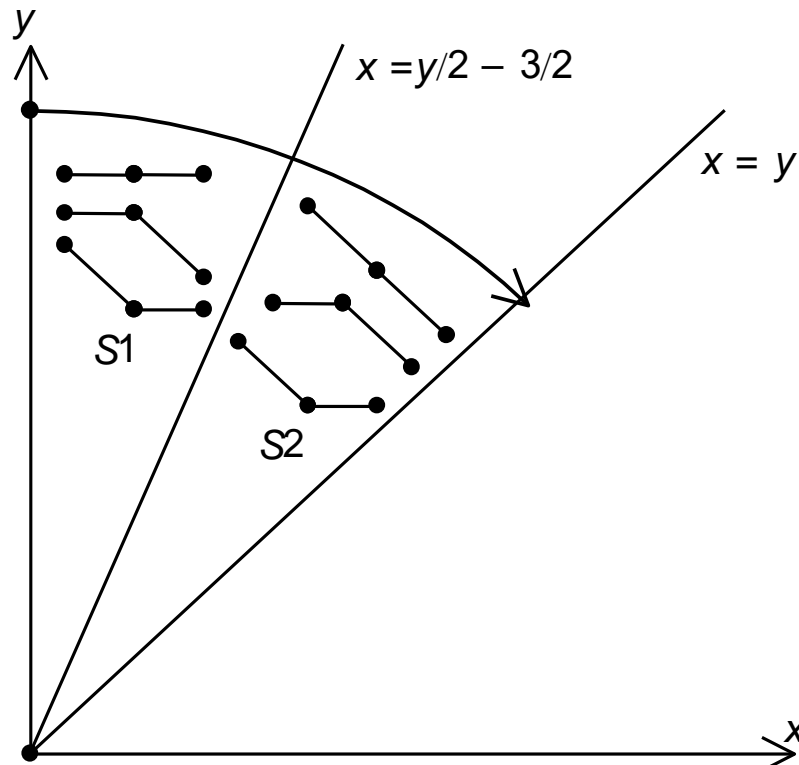


Рис. 2.6. Поділ траєкторії кола на сектори

У секторі $S1$ неможлива поява двох послідовних діагональних приростів. Для інтерполяції ділянки траєкторії в секторі $S1$ використовуються такі комбінації крокових приростів: два послідовних горизонтальних кроки (надалі приріст типу $00, 0$ – відповідає приросту по координаті x);

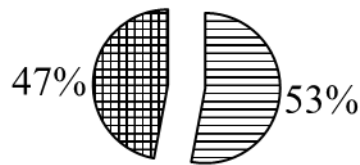
комбінації горизонтального кроку з діагональним (прирости типу 01 та 10, 1 – відповідає діагональному координатному приросту).

У секторі *S2* неможлива поява двох послідовних горизонтальних координатних приростів.

Шляхом математичного моделювання процедури інтерполювання кіл радіусами від 1 до 4000 точок (алгоритм інтерполяції забезпечує похибку інтерполювання, яка не перевищує 1/2 кроку дискретизації) визначено питому вагу подвійних приростів певного виду в загальній кількості.

Для сектора *S1* характерна наявність більшої кількості подвійних горизонтальних приростів. Їх питома вага в загальній кількості становить 53 % (рис. 2.7).

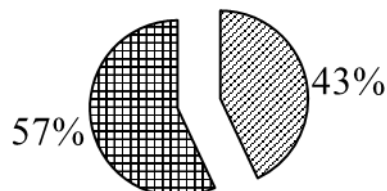
У секторі *S2* переважає поява комбінованих приростів, їх питома вага складає 57 % (рис. 2.7).



▣ Питома вага подвійних горизонтальних приростів

▣ Питома вага комбінованих приростів (прирости типу 01, 10).

Рис. 2.7. Розподіл подвійних крокових приростів у секторі *S1*



▣ Питома вага подвійних діагональних приростів

Рис. 2.8. Розподіл подвійних крокових приростів у секторі *S2*

Проведені дослідження, які стосуються питомої ваги сполучень координатних приростів залежно від зони формування траєкторії, дозволяють визначити вид оцінювальної функції на найімовірніший результат, що в кінцевому підсумку забезпечує суттєве підвищення швидкодії інтерполювання.

Запропонований підхід до формування крокової траєкторії базується на визначенні в кожному інтерполяційному такті відразу двох елементарних координатних приростів.

Проведені дослідження показують, що в кожному секторі можливо формування трьох типів сполучень крокових приростів, що визначає необхідність оперування одночасно з трьома оцінювальними функціями, і, як наслідок, з недвійковими логічними змінними. Вирішення проблеми можливе за рахунок заміни двох сполучень крокових приростів типу 01, 10 одним із них.

Із рис. 2.9 видно, що при формуванні крокової траєкторії координатними приростами 01 (складові VY , YZ) та 10 (складові VW , WZ) забезпечується гарантоване попадання в точку Z , тобто похибки інтерполювання в кінцевій точці подвійних приростів будуть при цьому однакові.

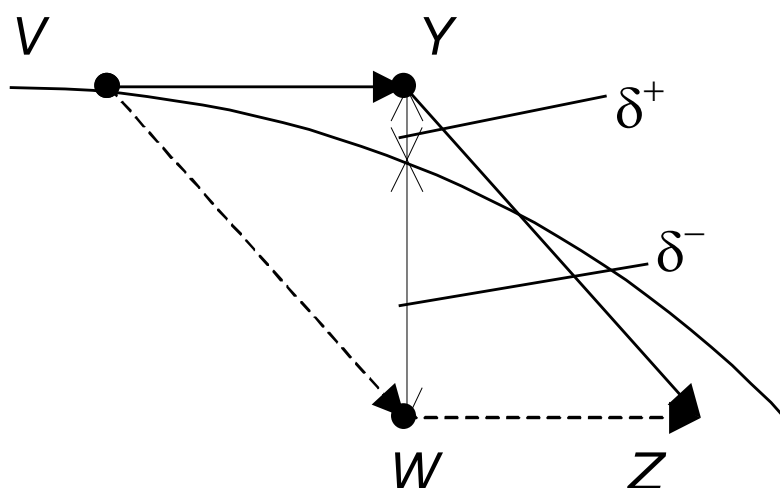


Рис. 2.9. Похибки колового інтерполювання для приростів типу 01 і 10

Формування замість двох типів сполучень крокових приростів одного із них може призвести до збільшення похибки інтерполювання в середній точці координатного сполучення.

Заміна переміщень VY , YZ (приріст типу 01) на переміщення VW , WZ приведе до переходу від інтерполювання з похибкою δ^+ до інтерполювання з похибкою δ^- . Враховуючи, що відстань від точки Y до точки W дорівнює одній дискреті, можна констатувати, що похибка інтерполювання при цьому не буде перевищувати кроку дискретизації, що є для алгоритмів машинної графіки цілком прийнятним.

Враховуючи, що для сектора $S1$ питома вага приростів типу 00 найбільша і складає 53 %, то прогнозний розрахунок для даної зони виконується саме на цей приріст. З двох приростів 01 та 10 як фіксований доцільно вибрати 01. Це спрощує перехід до сектора $S2$, тому що кінцевий елементарний крок приросту 01 є діагональним, який найчастіше зустрічається у вказаній області.

Формування крокової траєкторії двома типами фіксованих подвійних приростів забезпечує резерв для збільшення швидкості реалізації колового інтерполювання до двох разів.

Досягнути максимальної точності інтерполювання можна за рахунок уточнення – який з двох можливих приростів типу 01 та 10 необхідно формувати в даному такті. Для цього виконується додатковий розрахунок та аналіз значення оцінювальної функції в точці Y . Це призводить до ускладнення обчислювального процесу, але і при цьому резерв збільшення швидкодії порівняно з класичним інкрементним підходом можливий в 1,3 рази. Це обумовлено тим, що в 47 % випадків (рис. 2.7) має місце збільшення швидкодії в 2 рази, оскільки для приросту типу 00 уточнений розрахунок не потрібний.

Один з можливих підходів до реалізації функції колової інтерполяції полягає в обчисленні двох незалежних оцінювальних функцій – однієї $O\Phi_{i1}$

для непарних, а другої $O\Phi_{i2}$ для парних точок траєкторії. Можливі два альтернативні підходи. За одним з них виконується “координатне зміщення” оцінювальних функцій $O\Phi_{i1}$, $O\Phi_{i2}$, при якому в кожному інтерполяційному такті аналізуються знаки оцінювальних функцій. Враховуючи неможливість формування в секторі $S1$ подвійного приросту 11, знаки функцій $O\Phi_{i1}$ та $O\Phi_{i2}$ однозначно визначають типи подвійних приростів. Якщо $O\Phi_{i1} \geq 0$, $O\Phi_{i2} \geq 0$, то формується приріст 00, якщо $O\Phi_{i1} \geq 0$, $O\Phi_{i2} < 0$ – приріст 01, а якщо $O\Phi_{i1} < 0$, $O\Phi_{i2} < 0$, то приріст 10 (вказане має місце, якщо від’ємне значення оцінювальної функції визначає діагональний крок).

Інший підхід полягає у формуванні двох незалежних оцінювальних функцій, одна з яких визначає парні, а інша – непарні точки траєкторії. Як правило, такі функції розраховуються за однотипними формулами з різними початковими значеннями.

Розрахунок незалежних оцінювальних функцій програмним шляхом однопроцесорним обчислювальним пристроєм не забезпечує підвищення швидкодії. При апаратній реалізації за рахунок розгалуження обчислювального процесу можна досягнути підвищення швидкодії в 2 рази.

Висновки

Модифіковано метод оцінювальної функції, особливість якого полягає у використанні нових виразів з метою зменшення похибки інтерполяції, яка не перевищує половині кроку дискретизації.

Розроблено метод кругової інтерполяції, особливість якого полягає у визначенні в кожному інтерполяційному такті не однієї, а відразу двох точок траєкторії кола. Це дозволяє до двох разів зменшити час формування кола.

3 ПІДВИЩЕННЯ РЕАЛІСТИЧНОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ КРОКОВИХ ТРАЄКТОРІЙ

3.1 Антиаліайзинг крокової траєкторії кіл і кривих другого порядку

Будемо розглядати формування кола для другого октанта. Вирази для інших октантів можна отримати аналогічно, враховуючи симетрію кола. Дуга кола в другому октанті може перетинати в ортогональному напрямку один або два піксели [13, 14].

Відстань від центра пікселя до кола визначається за формулою

$$h_i = R - \sqrt{x_i^2 + y_i^2}.$$

Відомо, що квадратний корінь можна наближено обчислювати за формулою Герона [23]

$$sqr_i = \frac{1}{2} \left(sqr_{i-1} + \frac{a}{sqr_{i-1}} \right), \quad \sqrt{a} \approx sqr_i,$$

де sqr_0 – перше наближення до кореня, $a = x^2 + y^2$, sqr_i – наближене значення виразу \sqrt{a} , отримане на i -й ітерації, $i = 1, 2, \dots, N$. З кожною ітерацією значення sqr_i наближається до точного значення виразу \sqrt{a} . Оскільки $\sqrt{a} = \sqrt{x^2 + y^2}$, то за початкове наближення доцільно взяти радіус кола, тобто $sqr_0 = R$. При виконанні лише однієї ітерації розрахунку за формулою Герона [23]

$$sqr_1 = \frac{1}{2} \left(sqr_0 + \frac{x^2 + y^2}{sqr_0} \right) = \frac{1}{2} \left(R + \frac{x^2 + y^2}{R} \right)$$

Визначимо абсолютну похибку між sqr_1 і точним значенням

$$\Delta = \frac{1}{2} \left(R + \frac{x^2 + y^2}{R} \right) - \sqrt{x^2 + y^2} = \frac{R^2 + x^2 + y^2}{2R} - \frac{2R\sqrt{x^2 + y^2}}{2R} =$$

$$= \frac{R^2 - 2R\sqrt{x^2 + y^2} + (x^2 + y^2)}{2R} = \frac{(R - \sqrt{x^2 + y^2})^2}{2R}.$$

Для більшості алгоритмів колової інтерполяції [1] $|R - \sqrt{x^2 + y^2}| \leq 1/2$.

З урахуванням останньої нерівності знаходимо, що $\max|\Delta| \leq \frac{1}{8R}$. У подальшому для знаходження h_i будемо використовувати вираз

$$h_i = \left| R - \frac{1}{2} \left(R + \frac{x^2 + y^2}{R} \right) \right| = \frac{|R^2 - (x^2 + y^2)|}{2R}. \quad (3.20)$$

Для колової інтерполяції найбільш часто використовується оцінювальна функція виду [1, 2, 15, 16]:

$$OF_i = x_i^2 + y_i^2 - R^2.$$

Неважно помітити, що $h_i = \frac{|OF_i|}{2R}$. Підставивши (3.20) в (3.14) та врахувавши вираз для OF_i , отримуємо формулу для визначення інтенсивності кольору

$$I_i \approx \frac{17 \cdot I_M}{32} + \frac{R^2 - (x^2 + y^2)}{2R} I_M = \frac{17 \cdot I_M}{32} - \frac{I_M}{2R} OF_i.$$

Оскільки $\frac{I_M}{2R}$, $\frac{17 \cdot I_M}{32}$ є сталими для кола, то їх значення можна розрахувати один раз у циклі підготування. Для того, щоб вилучити операції ділення та множення в циклі інтерполювання, інтенсивність кольору пікселів можна приймати рівними дискретним рівням: $\frac{I_M}{2}; \frac{I_M}{4}; \frac{I_M}{8}; \frac{I_M}{16}; \dots$. Кількість дискретних рівнів визначають залежно від необхідної точності згладжування траєкторії.

В існуючих методах згладжування зображень траєкторій кіл використовуються трудомісткі операції в циклі інтерполювання [21].

Пропонується для антиаліайзінгу траєкторії кіл використати нову оцінювальну функцію, знак якої визначає тип крокових переміщень, а значення – інтенсивність кольору.

Якщо розділити ліву й праву частини оцінювальної функції $x^2 + y^2 - R^2$ на $2R$, то її знак не зміниться. Для переходу до цілочисельної арифметики для колової інтерполяції оцінювальну використаємо функцію виду

$$OF' = \frac{2^q}{2R} x^2 + \frac{2^q}{2R} y^2 - \frac{2^q}{2R} R^2.$$

З урахуванням останнього виразу отримуємо формулу для знаходження відстані від центра піксела до дуги кола

$$d_i = \frac{-OF'}{2^q}.$$

Визначимо нове значення оцінювальної функції при виконанні горизонтального крокового переміщення ($x_{i+1} = x_i + 1$; $y_{i+1} = y_i$)

$$OF'_{i+1} = \frac{2^q}{2R} (x+1)^2 + \frac{2^q}{2R} y^2 - \frac{2^q R}{2} OF'_i + \frac{2^q}{R} x + \frac{2^q}{2R}.$$

Нехай $g(x) = \frac{2^q}{R} x$, $g(0) = 0$. Тоді $g(x+1) = g(x) + \frac{2^q}{R}$.

При виконанні діагонального кроку ($x_{i+1} = x_i + 1$; $y_{i+1} = y_i - 1$)

$$OF'_{i+1} = \frac{2^q}{2R} (x+1)^2 + \frac{2^q}{2R} (y-1)^2 - \frac{2^q R}{2} = OF'_i + \frac{2^q}{R} x - \frac{2^q}{R} y + \frac{2^q}{R}.$$

Якщо $l(y) = \frac{2^q}{R} y$, то $l(y-1) = l(y) - \frac{2^q}{R}$.

Доведено [1], що для забезпечення максимальної точності інтерполяції для базової оцінювальної функції необхідно прийняти початкове значення,

рівне $R - 1/4$. Для оцінювальної функції $OF'_0 = \frac{2^q}{2R} \left(R - \frac{1}{4} \right) = 2^{q-1} - \frac{2^q}{8R}$.

Нехай $OF_m = OF' + OF'_0$. З урахуванням виразу (3.22) отримуємо формулу

$$OF_m = OF' + 2^{q-1} - \frac{2^q}{8R} = -d \cdot 2^q + 2^{q-1} - \frac{2^q}{8R}.$$

З останнього виразу знаходимо, що $d = -\frac{OF_m}{2^q} + \frac{1}{2} - \frac{1}{8R}$.

Якщо під час виконання прогнозованого кроку $OF_m < 0$, то дійсне значення оцінювальної функції необхідно розрахувати в точці, яку розташовано на одну дискрету нижче. Значення функції для прогнозного кроку дорівнює

$$OF'_{\text{прог.}} = \frac{2^q}{2R}x^2 + \frac{2^q}{2R}(y-1)^2 - \frac{2^q R}{2} + OF'_0 = \frac{2^q}{2R}x^2 + \frac{2^q}{2R}y^2 - \frac{2^q R}{2} + OF' - \frac{2^q}{R}y + \frac{2^q}{2R}.$$

Значення оцінювальної функції в дійсній точці дорівнює

$$OF'_{\text{дійсн.}} = \frac{2^q}{2R}x^2 + \frac{2^q}{2R}y^2 - \frac{2^q R}{2} + OF'_0 = OF'_{\text{прог.}} + l(y) - \frac{2^q}{2R}.$$

Алгоритм згладжування зображення траєкторії кола включає такі дії.

1. У циклі підготування розраховують операнди: $g := 0$; $l := 2^q$;

$$T := \left\lceil \frac{2^q}{R} \right\rceil; OF_m := 2^{q-1} - \left\lfloor \frac{T}{8} \right\rfloor; x := 0; y := R; d(0, R) := 0.$$

2. Якщо $x > y$, то переходимо до кроку 8.

3. Якщо $OF_m \geq 0$, то $OF_m := OF_m + g - l + T$.

$$\text{інакше} \quad OF_m := OF_m + g + T/2;$$

4. Якщо $OF_m \geq 0$, то $x := x + 1$; $y := y - 1$; $g := g + T$; $l := l - T$;

$$OF_{\text{дійсн.}} = OF_m,$$

$$\text{інакше} \quad x := x + 1; g := g + T; OF_{\text{дійсн.}} = OF_m + l - T/2.$$

5. Розраховуємо відстань $h = \frac{-OF_{\text{дійсн.}}}{2^q} + \frac{1}{2} - \frac{1}{8R}$.

6. Розраховують інтенсивність кольору піксела.

7. Перехід до п. 2.

8. Кінець.

У запропонованому алгоритмі відсутні “довгі” операції в циклі інтерполювання та використовується цілочисельна арифметика.

Для обчислення площі покриття піксела колом найчастіше використовують формулу Філда [21, 22]: $S_{верх} = H_a/2$; $S_{низ} = 1 + H_b/2$ (рис. 3.1). Вона забезпечує точність достатню для випадку використання 8 рівнів інтенсивності кольору.

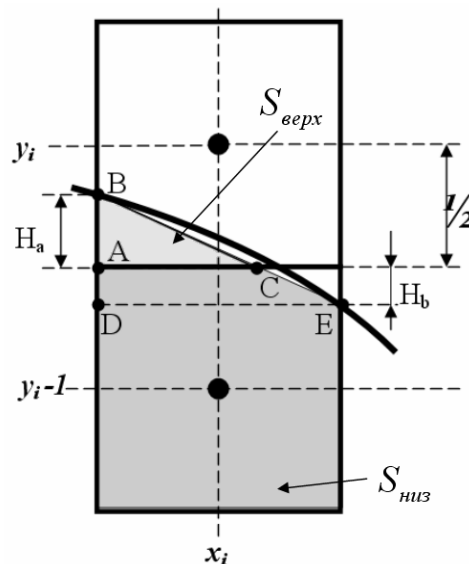


Рис. 3.1. Визначення площі покриття піксела колом

Запропоновано нову апроксимаційну формулу [21] для обчислення площі покриття піксела колом та еліпсом, яка характеризується меншою похибкою:

$$S_{верх} = \frac{H_a^2}{2H_a + 2|H_b|}; S_{низ} = 1 + \frac{H_a - H_b}{2} - S_{верх}.$$

Так, наприклад, при використанні для завдання H_a, H_b всього 5-ти розрядів забезпечується точність, достатня для відтворення при антиаліазингу 64-х рівнів інтенсивності кольору [5].

При використанні метода суперсемплінгу [2, 21] обсяг обчислень, необхідних для растеризації сцени, росте в квадратичній залежності.

Зменшити обсяг обчислень можна за рахунок уведення субпікселізації не для всієї графічної сцени, а тільки для контурів графічних об'єктів.

За участі автора розроблено метод згладжування контурів, у якому для обчислення площі фрагмента піксела використовуються оцінювальні функції, розраховані в допоміжних точках усередині піксела (рис 3.2). Для цього вводиться ознака $P_{i,j}$, яка визначає належність субпікселів ділянці, обмеженій траєкторією.

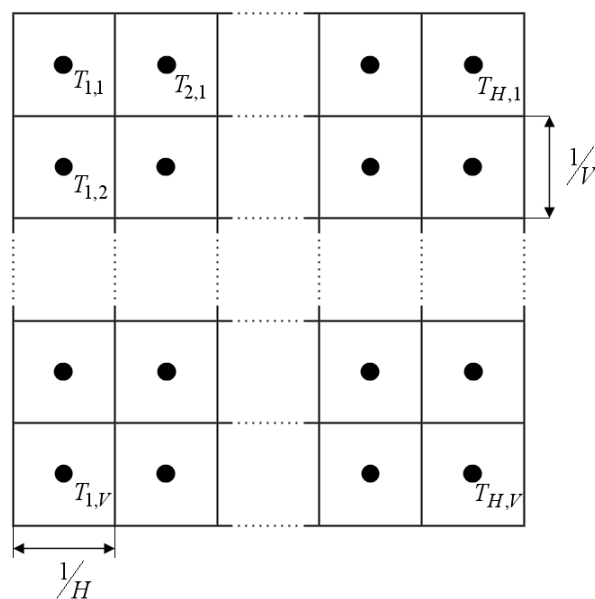


Рис. 3.2. Розташування допоміжних точок всередині піксела

Для внутрішніх точок піксела, які покриваються графічним примітивом, $P_{i,j} = 1$. В усіх інших випадках $P_{i,j} = 0$. Інтенсивність кольору піксела встановлюється пропорційно до кількості внутрішніх субпікселів, які покриваються об'єктом. Площа фрагмента піксела знаходиться за формулою:

$$S_{i \in \text{об.}} \approx S_a = \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^V P_{i,j} / l_g \cdot h_v, \text{ де } l_g, h_v - \text{розміри субпіксельного простору}$$

відповідно в горизонтальному і вертикальному напрямках. Для визначення покриття допоміжної точки $T_{i,j}$, об'єктом використано оцінювальну функцію,

яка від'ємна для всіх субпікселів траєкторії, що лежать усередині об'єкта. Знак оцінювальної функції, яка розрахована в допоміжній точці $T_{i,j}$, визначає розташування даної точки відносно границі графічного примітива. Запропонований підхід є універсальним і може бути застосований для будь-яких кривих. Показано [5], що максимальне значення абсолютної похибки обчислення площі фрагмента піксела не перевищує $1/2C$, де C - розмір субпіксела. За участі автора для згладжування траєкторії кіл розроблено метод антиаліазингу із використанням додаткових оцінювальних функцій.

3.2 Антиаліазинг зображення крокової траєкторії кривих другого порядку

Узагальнимо метод мультисемплінгу для антиаліазингу кривих другого порядку, задавши їх рівнянням у загальній формі [23].

$$f(x, y) = Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0. \quad (3.23)$$

При $F = 0$ формула (3.23) задає криві, які проходять через початок координат. Таке завдання кривої є найбільш поширеним у комп'ютерній графіці [2].

У загальному випадку при формуванні траєкторій від потокової точки можливі вісім напрямків елементарних переміщень (4 ортогональних і 4 під кутом, кратним 45°). Наступні точки для переміщення вибирається залежно від квадранта, в якому розташовано сегмент кривої, і напрямку формування кривої. Так, наприклад, на рис. 3.2 зображено процедуру формування кривої проти годинникової стрілки в першому квадранті. Якщо на певному кроці обрано точку $P(x, y)$, то наступна точка крокової траєкторії обирається з точок $\{A, B, C\}$. При цьому оцінювальна функція (3.23) обчислюється в точках $\{m_1, m_2, m_3, m_4\}$ (рис. 3.18).

Розрахуємо значення OF_i у додаткових точках $\{T_1, -T_{16}\}$, які

розташовано, як показано на рис. 3.3.

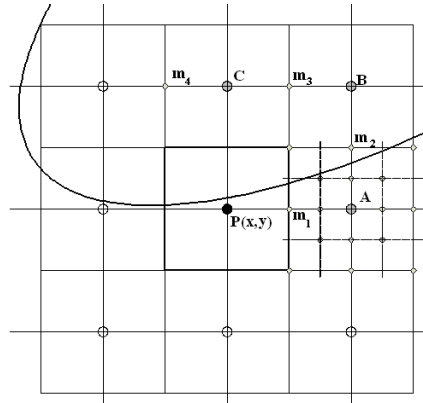


Рис. 3.3. Формування крокової траєкторії

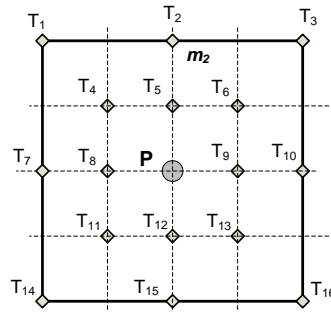


Рис. 3.4. Розташування точок $T_1 \div T_{16}$ усередині пікселя

Вибір шістнадцяти додаткових точок обумовлено тим, що конфігурація 4×4 є найбільш поширеною при суперсемлінгу [21] і вважається оптимальною за якістю. Симетричність розміщення субпікселів дозволяє при необхідності ввести для кожного з них вагу. Дослідження [21] властивостей людського зору показали, що 16 рівнів інтенсивностей для кривих другого порядку забезпечують достатньо високу якість згладжування.

Інтенсивність кольору пікселя знайдемо за формулою

$$I = I_M \cdot \sum_{i=1}^{16} \text{sign}(OF_i) / 16,$$

де I_M – інтенсивність кольору, з якою треба відтворити криву; OF_i – значення оцінювальної функції (3.23) у точці T_i . Розглянемо вирази для знаходження оцінювальних функцій у точках $\{T_1, T_2, \dots, T_{16}\}$ та оцінимо їх

обчислювальну складність. Для точки T_1 маємо таке співвідношення

$$OF_1 = f\left(x - \frac{1}{2}, y + \frac{1}{2}\right) = (Ax^2 + Bx - y + Cy^2 + Dx + Ey) - \frac{2Ax + By + D}{2} + \frac{2Cy + Bx + E}{2} + \frac{A + C - B}{4}.$$

Позначимо

$$f_x = \frac{\partial f}{\partial x} = 2Ax + Bx + D, \quad f_y = \frac{\partial f}{\partial y} = 2Cy + Bx + E.$$

Отримуємо такий вираз для OF_1 у точці T_1

$$OF_1 = f\left(x - \frac{1}{2}, y + \frac{1}{2}\right) = f(x, y) - \frac{f_x - f_y}{2} + \frac{A + C - B}{4}.$$

У табл. 3.5 наведено вирази для розрахунку оцінювальних функцій у точках $\{T_1, T_2, T_3, \dots, T_{16}\}$. Із табл. 3.5 видно, що для обчислення значень оцінювальних функцій у додаткових точках $\{T_1, T_3, T_4, T_6, T_{11}, T_{13}, T_{14}, T_{16}\}$ необхідно виконати по три мікрооперації «додавання» на один піксел з урахуванням того, що значення коефіцієнтів $(A + C - B)/4$, $(A + C + B)/4$, $(A + C - B)/16$, $(A + C + B)/16$ розраховано в циклі підготування. Для обчислення значень OF_i у додаткових точках $\{T_2, T_5, T_7, T_8, T_9, T_{10}, T_{12}, T_{15}\}$ треба реалізувати по дві операції додавання на піксел.

Залежно від вимог, які висуваються до алгоритму формування траєкторії, можливо використання для розрахунку інтенсивності кольору різної кількості додаткових точок у декількох комбінаціях. З табл. 3.5 видно, що розрахунок оцінювальних функцій передбачає виконання тільки операцій типу додавання, в той час як у методі Ву [21] використовують також операції ділення. Розрахунок значень оцінювальних функцій у додаткових точках можна реалізувати окремо, що дозволяє значно прискорити формування зображень у багатопроекторних системах.

Значення OF_i у додаткових точках залежать лише від координат точок.

Тому незалежно від напрямку рендерингу крокової траєкторії інтенсивність кольору конкретного пікселя завжди буде однаковою

Таблиця 3.1

Формули для розрахунку оцінювальних функцій

Точка	Формула
T_1	$OF_1 = f\left(x - \frac{1}{2}, y + \frac{1}{2}\right) = f(x, y) - \frac{f_x - f_y}{2} + \frac{A + C - B}{4}$
T_2	$OF_2 = f\left(x, y + \frac{1}{2}\right) = f(x, y) + \frac{f_y}{2} + \frac{C}{4}$
T_3	$OF_3 = f\left(x + \frac{1}{2}, y + \frac{1}{2}\right) = f(x, y) - \frac{f_x - f_y}{2} + \frac{A + C + B}{4}$
T_4	$OF_4 = f\left(x - \frac{1}{4}, y + \frac{1}{4}\right) = f(x, y) - \frac{f_x - f_y}{4} + \frac{A + C - B}{16}$
T_5	$OF_5 = f\left(x, y + \frac{1}{4}\right) = f(x, y) + \frac{f_y}{4} + \frac{C}{16}$
T_5	$OF_6 = f\left(x + \frac{1}{4}, y + \frac{1}{4}\right) = f(x, y) + \frac{f_x + f_y}{4} + \frac{A + C + B}{16}$
T_7	$OF_7 = f\left(x - \frac{1}{2}, y\right) = f(x, y) - \frac{f_x}{2} + \frac{A}{4}$
T_8	$OF_8 = f\left(x - \frac{1}{4}, y\right) = f(x, y) - \frac{f_x}{4} + \frac{A}{16}$
T_9	$OF_9 = f\left(x + \frac{1}{4}, y\right) = f(x, y) + \frac{f_x}{4} + \frac{A}{16}$
T_{10}	$OF_{10} = f\left(x + \frac{1}{2}, y\right) = f(x, y) + \frac{f_x}{2} + \frac{A}{4}$
T_{12}	$OF_{12} = f\left(x, y - \frac{1}{4}\right) = f(x, y) - \frac{f_y}{4} + \frac{C}{16}$
T_{13}	$OF_{13} = f\left(x + \frac{1}{4}, y - \frac{1}{4}\right) = f(x, y) + \frac{f_x - f_y}{4} + \frac{A + C - B}{16}$

T_{14}	$OF_{14} = f\left(x - \frac{1}{2}, y - \frac{1}{2}\right) = f(x, y) - \frac{f_x + f_y}{2} + \frac{A + C + B}{4}$
T_{15}	$OF_{15} = f\left(x, y - \frac{1}{2}\right) = f(x, y) - \frac{f_y}{2} + \frac{C}{4}$
T_{15}	$OF_{16} = f\left(x + \frac{1}{2}, y - \frac{1}{2}\right) = f(x, y) + \frac{f_x - f_y}{2} + \frac{A + C - B}{4}$

При інтерполювання за методом Ву [21] інтенсивність кольору точки траєкторії розраховується з використанням відстані від центра пікселя до траєкторії по одній із координат залежно від поточного квадранту та напрямку рендерингу. Можливий артефакт, коли піксел буде два рази використано і йому призначено різну інтенсивність кольору, що створює колізію при антиаліазингу. Приклад зображень, сформованих із використанням запропонованого методу, наведено на рис. 3.5.

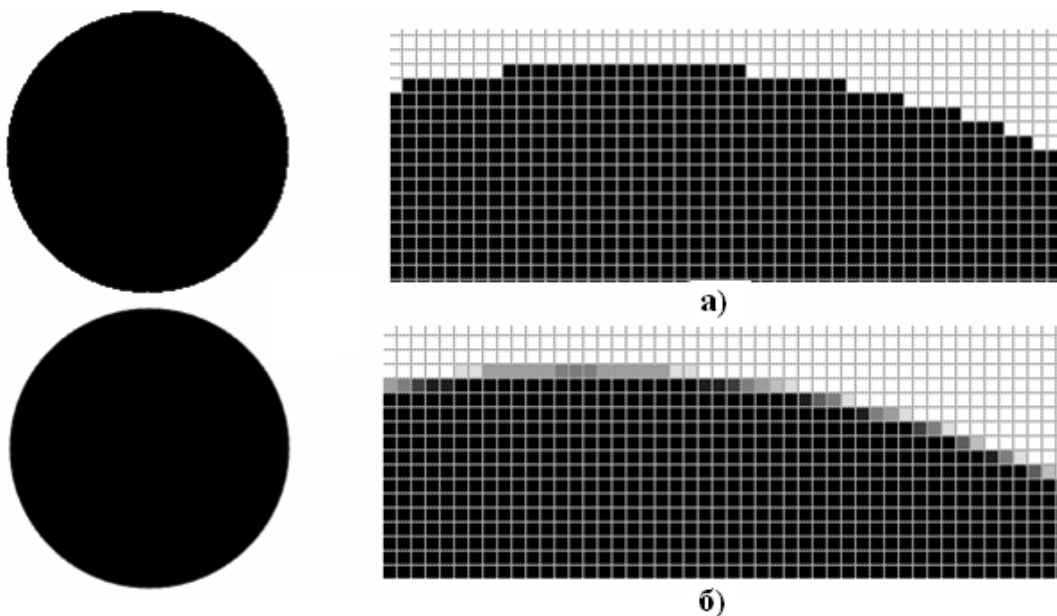


Рис. 3.5. Приклад антиаліазингу зображення траєкторії кола:
а) без антиаліазингу; б) з використанням модифікованої оцінювальної функції

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано алгоритм антиаліазингу, що передбачає для розрахунку оцінювальних функцій виконання тільки операцій типу додавання, в той час як у методі Ву використовують також операції ділення

2. Узагальнено метод додаткових оцінювальних функцій для антиаліазингу кривих другого порядку, заданих загальним рівнянням. Суть методу полягає у введенні субпікселізації для контурів графічних об'єктів і визначенні інтенсивностей складових кольору піксела з використанням оцінювальних функцій, розрахованих у допоміжних точках усередині піксела. Метод не містить «довгих» операцій у циклі інтерполювання, має просту апаратну реалізацію, не потребує збільшення розмірів кадрового буфера та фільтрації на стадії постоброблення.

4 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДИФІКОВАНИХ МЕТОДІВ КРУГОВОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ

4.1 Програмна реалізація алгоритму Брезенхема

У першому розділі бакалаврської кваліфікаційно роботи розглянуто алгоритм Брезенхема [2, 14]. В поточному розділі розроблено алгоритм та програмний засіб для генерації кола

Алгоритм вибору при координатному прирості включає перевірку таких умов:

- Якщо $\Delta_t < 0$:
якщо $\delta \leq 0$ вибираємо напрям H , тобто. піксель $(x_i + 1, y_i)$;
якщо $\delta > 0$ вибираємо напрям D , тобто. піксель $(x_i + 1, y_i - 1)$;
- если $\Delta_t > 0$:
якщо $\delta' \leq 0$ вибираємо напрям D , тобто. піксель $(x_i + 1, y_i - 1)$;
якщо $\delta' > 0$ вибираємо напрям V , тобто. піксель $(x_i, y_i - 1)$;
 $\Delta_t = 0$ D , тобто. піксель $(x_i + 1, y_i - 1)$.

При переході до поточного пікселя можна використати такі вирази :

- при кроці в горизонтальному напрямку H :
 $x_{i+1} = x_i + 1$; $y_{i+1} = y_i$; $\Delta_{t+1} = \Delta_t + 2x_{i+1} + 1$;
- при кроці у діагональному напрямку D :
 $x_{i+1} = x_i + 1$; $y_{i+1} = y_i - 1$; $\Delta_{t+1} = \Delta_t + 2x_{i+1} - 2y_{i+1} + 2$;
- при вертикальному напрямку V :
 $x_{i+1} = x_i$; $y_{i+1} = y_i - 1$; $\Delta_{t+1} = \Delta_t - 2y_{i+1} + 1$.

Нижче зображено граф-схему алгоритму Брезенхема

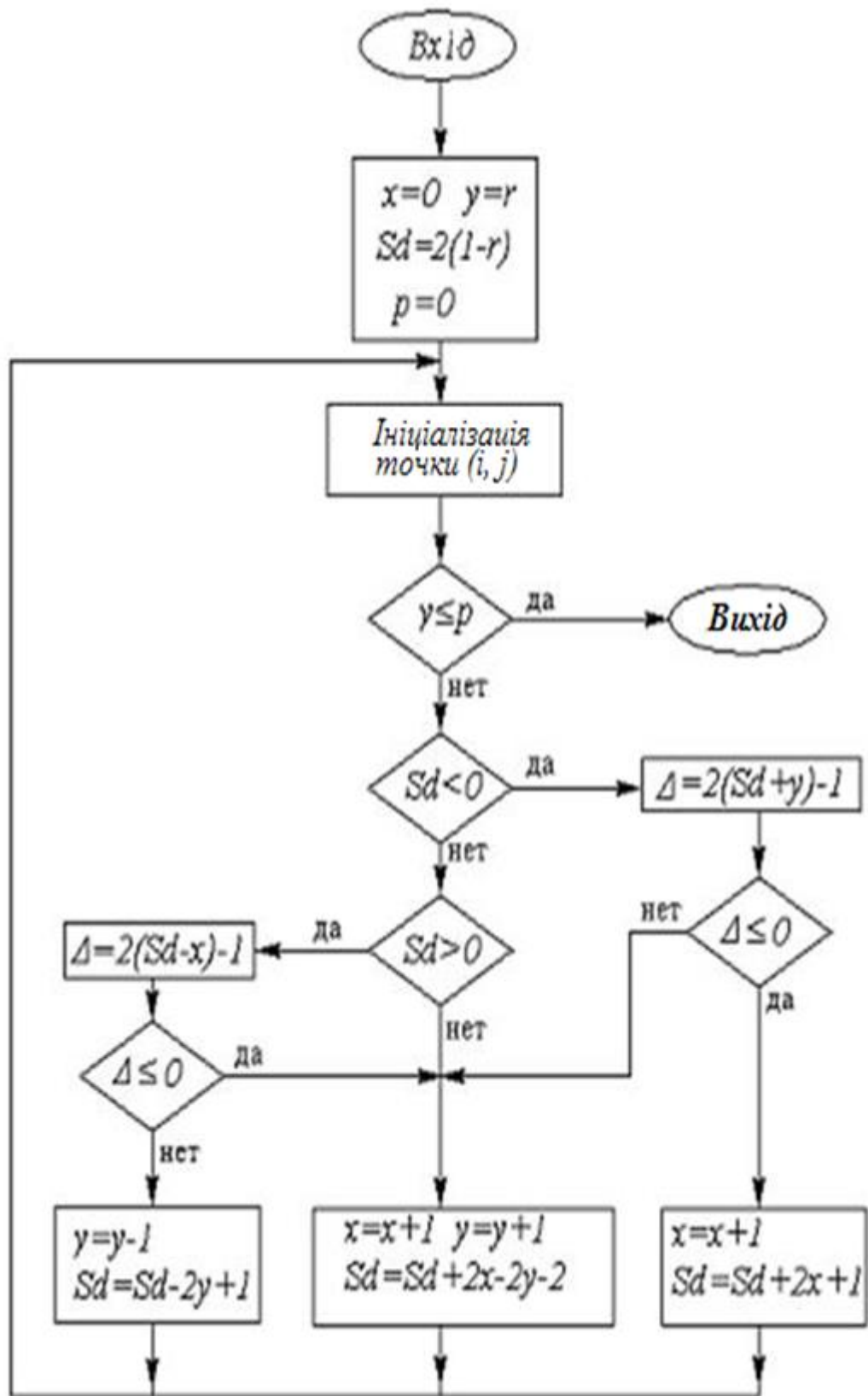


Рис. 4.1 Граф-схема алгоритму формування ділянки кола за алгоритмом Брезенхема

Лістинг розробленої програми наведено в додатку В.

4.2 Програмна реалізація модифікованого алгоритму кругової інтерполяції

У розділі 2 бакалаврської кваліфікаційної роботи було розроблено модифікований метод оцінювальної функції для формування кіл (дуг кіл) у координатному екранному просторі.

Особливість методу полягає в :

- у високій точності формування зображення траєкторії кола;
- відсутності корекції оцінювальної функції при переходах через границі октантів;

- відсутності «довгих операцій»;

- відносній простоті апаратної реалізації

В даному розділі запропоновано алгоритм та відповідна програма для формування кіл.

На рис. 4.2 наведено типи координатних приростів. Як видно з рисунку прирости по різних координатах мають протилежні знаки.

Кількість різних пар виразів для визначення оціночної функції можна зменшити до чотирьох. Це дозволяє виділити чотири інтерполяційні ділянки і вказані в кожній з них типи інтерполяційних кроків. Вирази для визначення оціночної функції в зазначених ділянках і виконувани інтерполяційні кроків наведено в таблиці 2.1.

Аналіз умов переходів з одного полуквadrанта в інший наведено в інший показує що при таких переходах ніяких додаткових перетворень не потрібно.

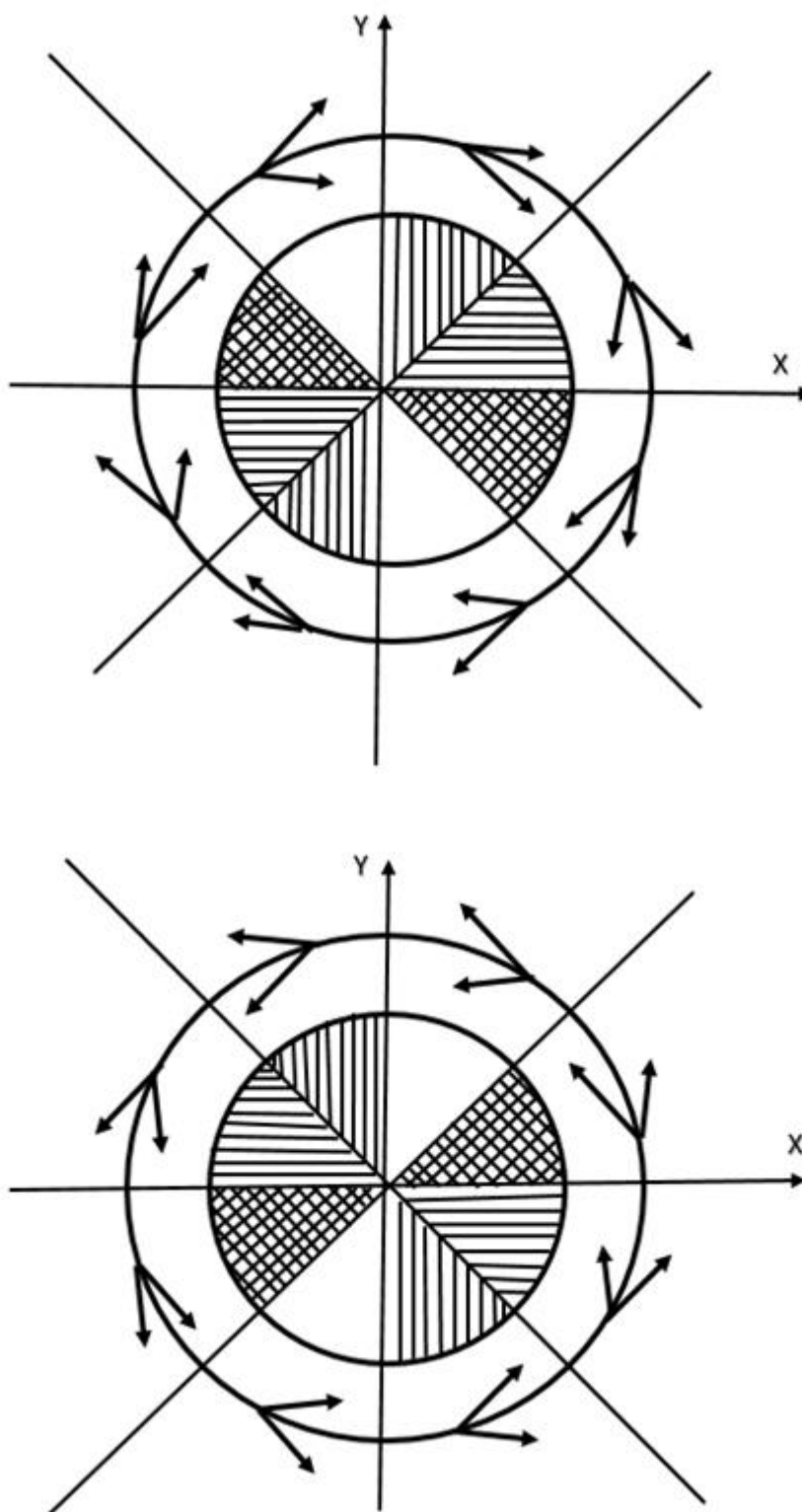
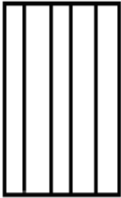

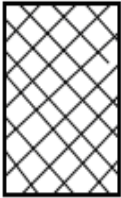
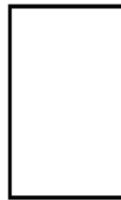


Рис. 4.2. Інтерполяційні області і типи інтерполяційних кроків по модифікованому методу оціночної функції

Таблиця 4.1. Вирази для визначення оцінювальної функції

Тип штриховки	Вирази для визначення оцінювальної функції	
	$O\Phi_l \geq 0$	$O\Phi_l < 0$
 вертикальна	$O\Phi_{l+1} = O\Phi_l + 2X_l - 2Y_l + 2$ $X_{l+1} = X_l + 1$ $Y_{l+1} = Y_l - 1$	$O\Phi_{l+1} = O\Phi_l + 2X_l + 1$ $X_{l+1} = X_l + 1$ $Y_{l+1} = Y_l$
 горизонтальна	$O\Phi_{l+1} = O\Phi_l - 2Y_l + 1$ $X_{l+1} = X_l$ $Y_{l+1} = Y_l - 1$	$O\Phi_{l+1} = O\Phi_l + 2X_l - 2Y_l$ $X_{l+1} = X_l + 1$ $Y_{l+1} = Y_l - 1$
 наклонна	$O\Phi_{l+1} = O\Phi_l - 2X_l + 2Y_l + 2$ $X_{l+1} = X_l - 1$ $Y_{l+1} = Y_l + 1$	$O\Phi_{l+1} = O\Phi_l + 2Y_l + 1$ $X_{l+1} = X_l$ $Y_{l+1} = Y_l + 1$
 без штриховки	$O\Phi_{l+1} = O\Phi_l - 2X_l + 1$ $X_{l+1} = X_l - 1$ $Y_{l+1} = Y_l$	$O\Phi_{l+1} = O\Phi_l - 2X_l + 2Y_l$ $X_{l+1} = X_l - 1$ $Y_{l+1} = Y_l + 1$

Правила визначення оціночної функції і виконання інтерполяційних кроків в кожній із ділянок інтерполяції.

В результаті запропоновано такий алгоритм кругової інтерполяції:

1) початкове значення оціночної функції приймається рівним $R + \frac{1}{4}$

2) залежно від напівквадранта виконується прогнозуючий крок в тому напрямку, який сприяє зміні знака оціночної функції (вибирається один із двох кроків, зазначених на рис.4.2) оціночна функція обчислюється за виразами наведеними в таблиці 4.1.

3) виконується дійсний крок на основі знака оціночної функції, отриманої в результаті виконання прогнозуючого кроку, так, що при додатному знаку дійсна точка збігається з прогнозованою, а при від'ємній - не збігається (дійсним виконується один з двох кроків, наведених на рис.4.2)

4) пункти 2 і 3 повторюються до тих пір поки не буде відпрацьована необхідна дуга окружності.

При такому алгоритмі інтерполяції прогнозують кроки, які відстежують коло радіуса $R - \frac{1}{2}$.

Подібний алгоритм інтерполяції можна було б запропонувати для випадку коли $Of_o = -R + \frac{1}{4}$. Тоді прогнозують кроки, які відстежували б коло радіуса $R + \frac{1}{2}$. В обох випадках максимальне відхилення дійсної точки від лінії кола не перевищує половини кроку дискретизації.

Слід підкреслити що з кожним інтерполяційним кроком проводиться тільки одне обчислення оціночної функції, що в порівнянні з попереднім методом істотно підвищує швидкодію інтерполятора.

У своїх міркуваннях зроблено припущення, що початкова точка, яка задана в цілих числах, лежить на лінії кола. У більш загальному випадку, коли коло визначено більш точно, в початковому значенні оціночної функції

необхідно також врахувати значення оціночної функції, відповідне відхиленню початкової точки, заданої в цілих числах, від траєкторії кола.

4.3. Апаратна реалізація кругового інтерполятора.

Розроблений в розділі 2 алгоритм кругової інтерполяції може бути реалізований пристроєм, структурну схему якого наведено на рис. 4.3. Пристрій містить накопичувальний суматор, два координатних лічильника, блок визначення різниці, комутатор і блок керування.

Пристрій працює таким чином. Перед початком роботи в лічильник X заноситься абсциса початкової точки кола щодо центру, а в лічильник Y - координата початкової точки. В накопичувальний суматор заноситься початкове значення оціночної функції. Надалі в кожному такті в накопичувальному суматорі обчислюється значення оціночної функції в точках, відповідних такому направленню руху, яке сприяє зміні знаку оціночної функції. Вчислення оціночної функції проводиться відповідно до виразів, наведених в таблиці 2.1. Знаком оціночної функції поступає з накопичувального суматора в блок управління. В останньому формуються керуючі сигнали, які поступають на виходи інтерполятора і на входи координатних лічильників. Блок визначення різниці служить для визначення різниці поточних координат при виконанні діагонального прогноуючого кроку.

Введення в інтерполятор початкової установки накопичення суматора дозволяє підвищити точність інтерполяції порівняно з раніше відомим пристроєм в два рази, а введення блоку визначення різниці дозволяє підвищити швидкодію інтерполятора, так як замість двох мікрооперацій додавання виконується одна.

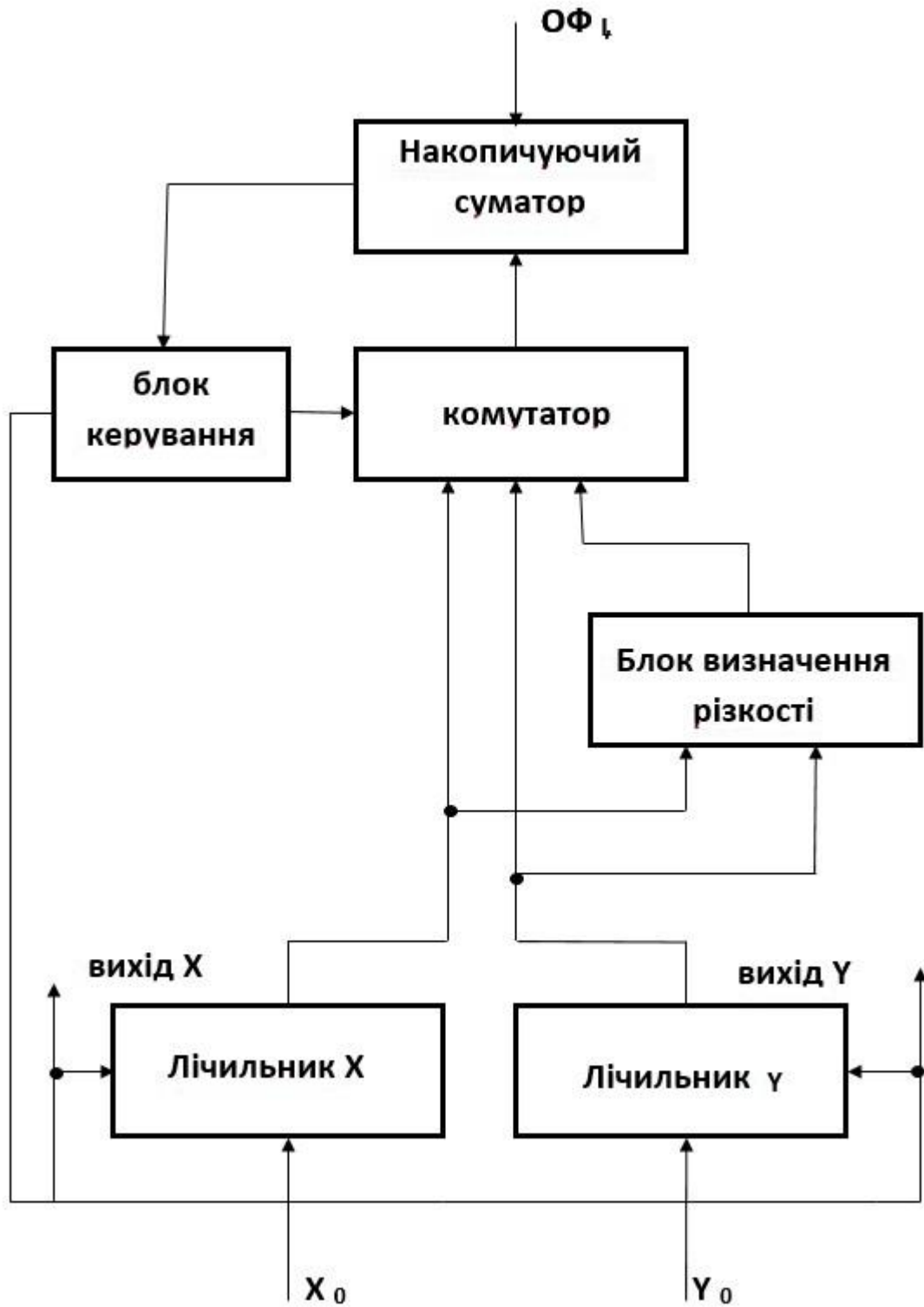


Рис. 4.3. Структурна схема кругового інтерполятора

4.4 . Особливості алгоритму кругової інтерполяції

Розглянутий в розділі 2 алгоритм кругової інтерполяції вимагає наступного завдання вихідних даних: координат початкової точки відносно центру кола, координат кінцевої точки відносно центру кола, радіуса кола, і напрямки руху. Бажано також вказувати похибку завдання початкової точки або величину оціночної функції,

Коло задається напрямком руху, координатами центру щодо початкової точки і координатами кінцевої точки відносно початкової точки (45). Якщо проєктована пристрій відображення або реєстрації графічної інформації орієнтоване на існуюче математичне забезпечення і вимагає прийнятого раніше завдання вихідних даних при кругової інтерполяції, виникає задача перетворення вихідних даних перед початком інтерполяції.

Розглянемо можливість попадання в кінцеву точку. Рис. 4.4. ілюструє випадок коли потрапляння в кінцеву точку неможливо. Це викликано тим, що початкова і кінцева точки дуги задані в цілих числах. Пари координат цих точок не завжди лежить на ідеальній окружності, округлюються до найближчого цілого і, таким чином, виходять координати кінцевої точки.

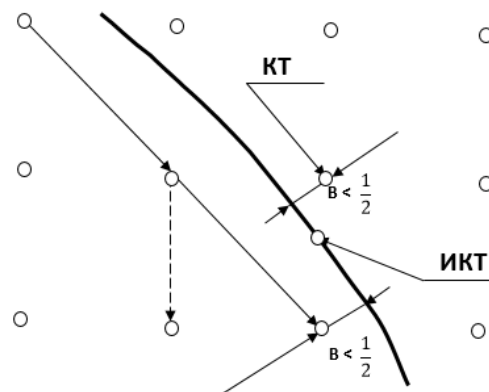


Рис. 4.4. Ілюстрація випадку, при якому попадання в кінцеву точку неможливе

Незважаючи на те, що запропонований алгоритм кругової інтерполяції дає похибку, що не перевищує половини кроку дискретизації, потрапляння в кінцеву точку не завжди можливо внаслідок того, що поруч з кінцевою існує ще одна точка, віддалена від лінії окружності не більш ніж на половину кроку дискретизації.

Діагональний крок в цю точку призводить до того що ми проходимо повз кінцеві точки. З іншого боку причиною неузгодженості є також визначення координат дискретними пристроями. Це вимагає в процесі інтерполяції виявляти область кінцевої точки і здійснювати доводку в кінцеву точку.

З огляду на ці особливості в алгоритмі кругової інтерполяції можна виділити наступні етапи: а) підготовка вихідних даних. б) цикл інтерполяції. в) доведення в області кінцевої точки.

Етап підготовки вихідних даних включає: визначення координат початкової точки відносно центру ($x_{\text{ктоц}} = y_{\text{ктоц}}$) виділення їх модулів і знаків, визначення координат кінцевої точки відносно центру ($x_{\text{ктоц}} = y_{\text{ктоц}}$) виділення їх модулів і знаків, обчислення різниць координат $\Delta_1 = |y_T| - |x_T|$ і $\Delta_2 = -\Delta_1$, де $y_T = x_T$ - координати поточної точки відносно центру (в даному випадку початковій) визначення радіуса інтерпольованої окружності.

Визначення координат початкової та кінцевої точок щодо центру рівносильно перетворенню декартових координат при паралельному перенесенні осей. Воно представлено на рис. 4.5.

Виділення знаків координат не представляє труднощів в разі коли модулі обох координат відрізняються від нуля. Якщо ж модуль будь-якої координати дорівнює нулю, знак її буде залежати від напрямлення руху і знаку іншої координати щодо центру кола. Варіанти визначення знаків координат початкової та кінцевої точок наведені на рис. 4.6.

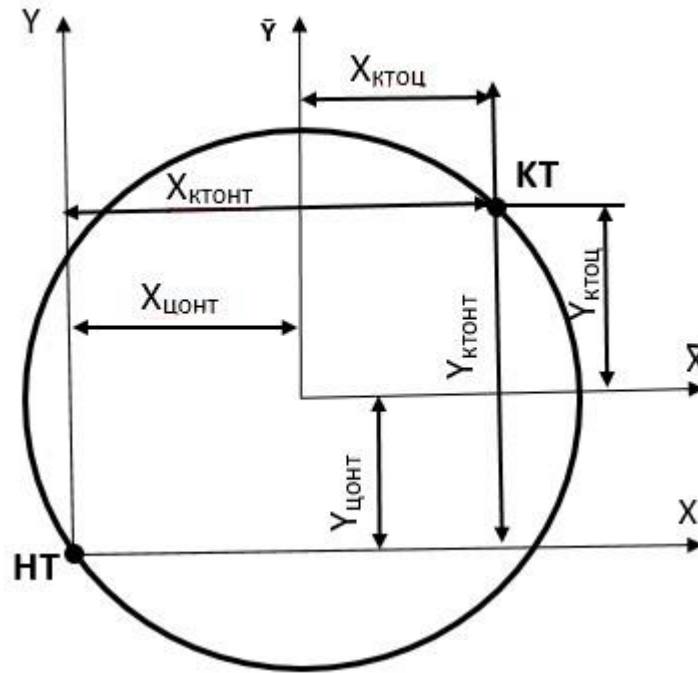


Рис. 4.5. Визначення координат початкової і кінцевої точок відносно центра

Більш докладно зупинимося на визначенні радіуса інтерпольованої окружності. Складність при визначенні радіуса полягає в тому що залежність радіуса від координат точки окружності нелінійна: $R = \sqrt{x^2 + y^2}$

Обчислення радіуса з поступовим зниженням залежності важко. Для визначення радіусу кола доцільно використовувати такі ж прості мікрооперації, які використовуються в алгоритмі кругової інтерполяції. Це наставляє на роздуми про використання самого ж алгоритму кругової інтерполяції для визначення радіуса інтерпольованої окружності. Дійсно якщо при інтерполяції окружності одна з координат стає рівною нулю, інша координата з точністю до кроку дискретизації дорівнює радіусу кола.

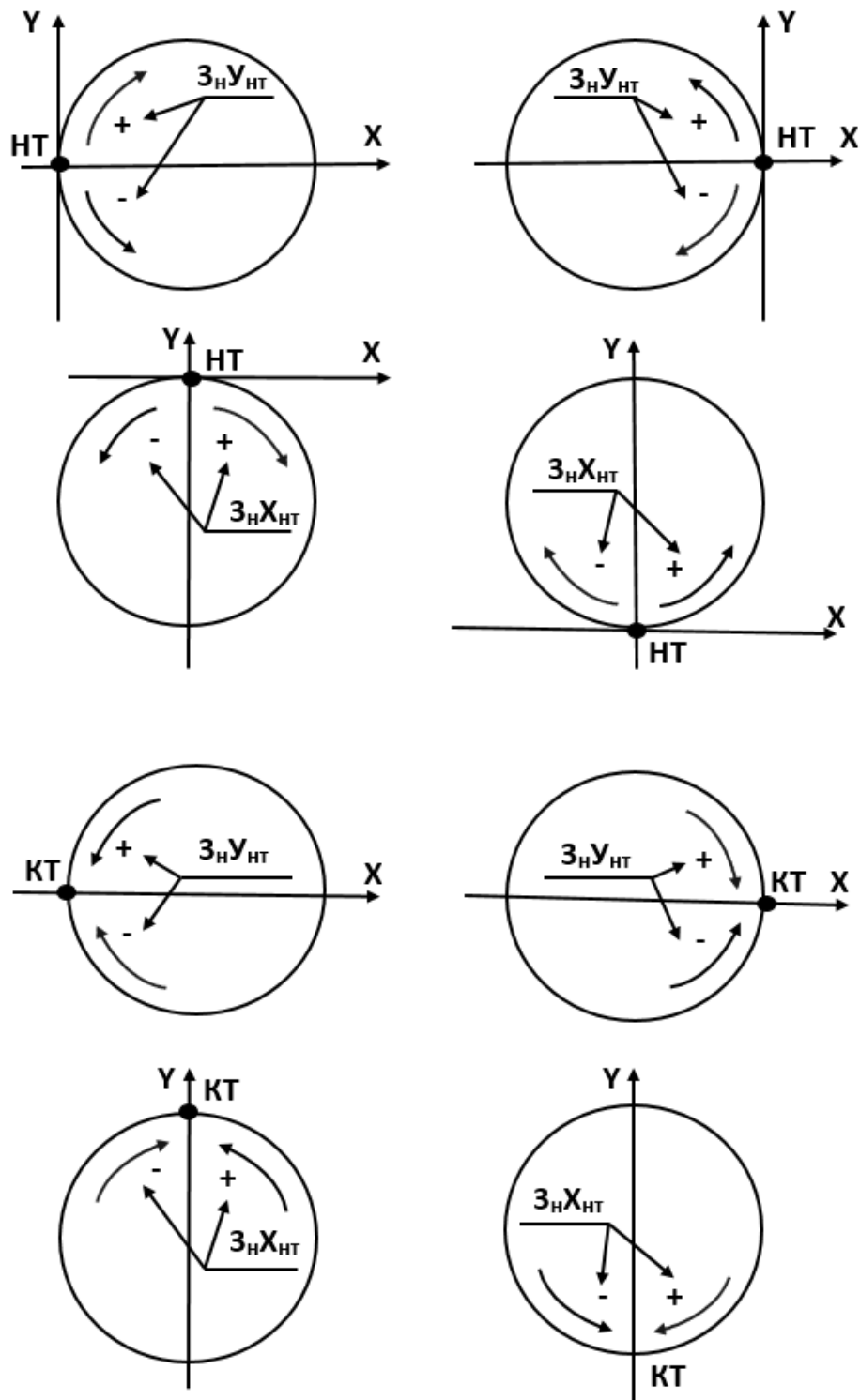


Рис. 4.6. Визначення знаків координат початкової і кінцевої точок при рівності нулю із координат

Граф-схема алгоритму визначення радіусу кола таким способом наведена на рис. 4.7. Тут початковою точкою обрана точка з координатами

$|x_{HT}|$, $|y_{HT}|$. За допомогою підвищення точності при визначенні радіуса початковим значенням оціночної функції вибрано значення більшого модуля, так як значення радіуса ще не визначено. Змінна T в процесі інтерполяції приймає значення меншої з координат поточної точки, а змінна D - різниці координат поточної точки. Коли T стає рівною нулю D представляє радіус інтерпольованого кола.

При мікропроцесорній реалізації алгоритму інтерполяції для визначення оціночної функції в разі виконання діагонального прогнозуючого кроку з метою підвищення швидкодія і скорочення постійної пам'яті доцільно використовувати заздалегідь визначену різницю координат а не обчислювати її з кожним обчисленням оціночної функції. Це можна досягти відстеженням меншої координати і різниці координат з кожним інтерполяційним кроком. Порівняння модулів і знаків координат поточної і кінцевої точки з кожним інтерполяційним кроком для визначення області кінцевої точки значно обмежує швидкодію інтерполятора що вимагає розробки методу відстеження кінцевої точки, що характеризується високою швидкодією. Для цього проаналізуємо запропонований алгоритм кругової інтерполяції. Так як в кожному полуквадранті можливі інтерполяційні кроки тільки двох типів причому обидва кроки призводять до зміни однієї з координат, можна запропонувати наступний метод відстеження кінцевої точки. з кожним інтерполяційним кроком проводиться порівняння знаків координат поточної і кінцевої точок. У разі якщо знаки не рівні, виконується наступний інтерполяційний крок. Якщо ж знаки координат поточної і кінцевої точок збігаються проводиться порівняння модулів координат поточної і кінцевої точок, однак порівнювати не обидві координати, а тільки одна, та, яка змінюється при виконанні інтерполяційних кроків обох типів в даному полуквадранті. У разі рівного розподілу модулів порівнюються координати для поточної і кінцевої точок, проводиться порівняння другої координати.

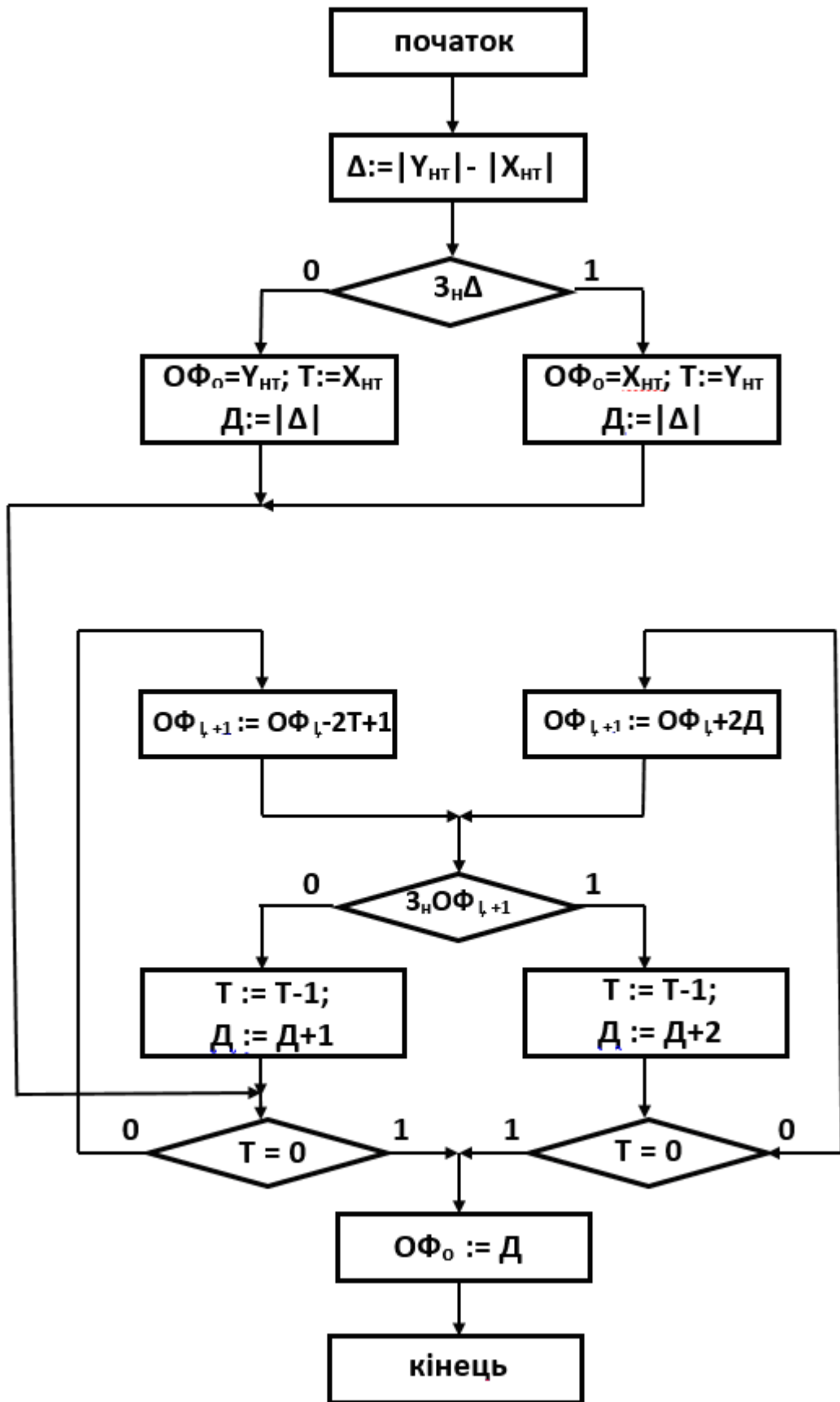


Рис. 4.7. ГСА визначення радіусу кола

Якщо модулі другої координати поточної і кінцевої точок збігаються - відтворення окружності закінчено, якщо немає - зробіть доведення. Доведення проводиться також у разі некоректного завдання кінцевої точки, тобто, при виконанні умов

$x_T < x_K$ і $y_T < y_K$, коли поточна точка знаходиться в тому ж квадраті, що і кінцева.

На рис. 4.8 зображено інтерфейс програмного модуля для формування зображень кіл, а на рис. 4.9- приклад формування крокової траєкторії.

Висновки

1. Розроблено програмні засоби для формування кіл за алгоритмом Брезенхема.
2. Розроблено алгоритми та програмні засоби за модифікованими методами кругової інтерполяції.
3. Розроблено структурну схему кругового інтерполятора.

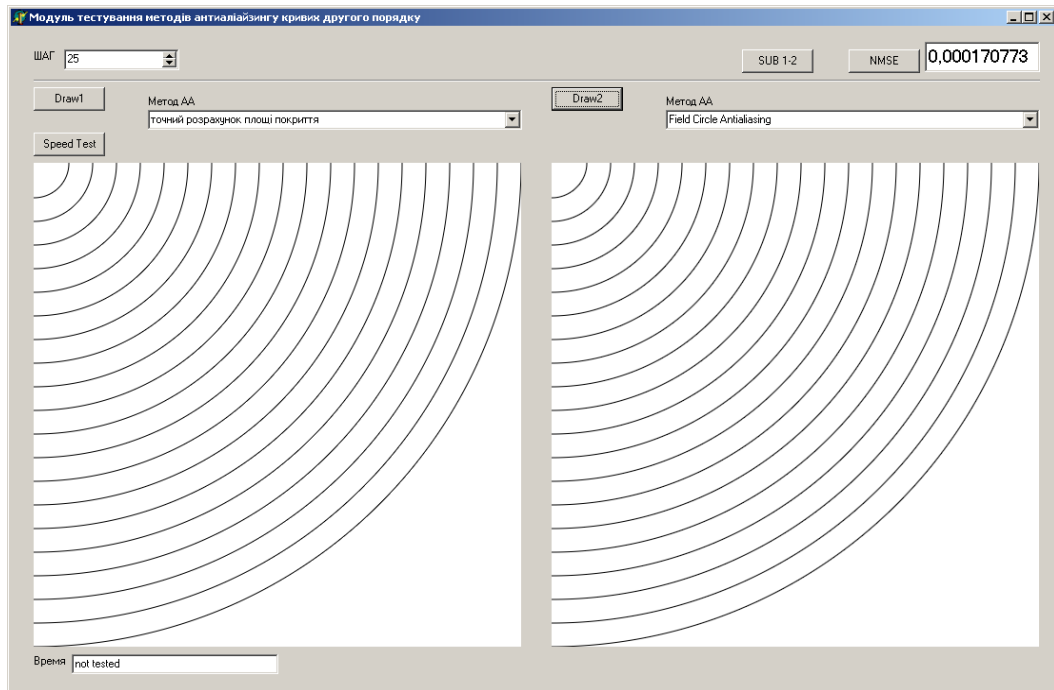


Рис. 4.8 - Зовнішній вигляд інтерфейсу програмного модуля

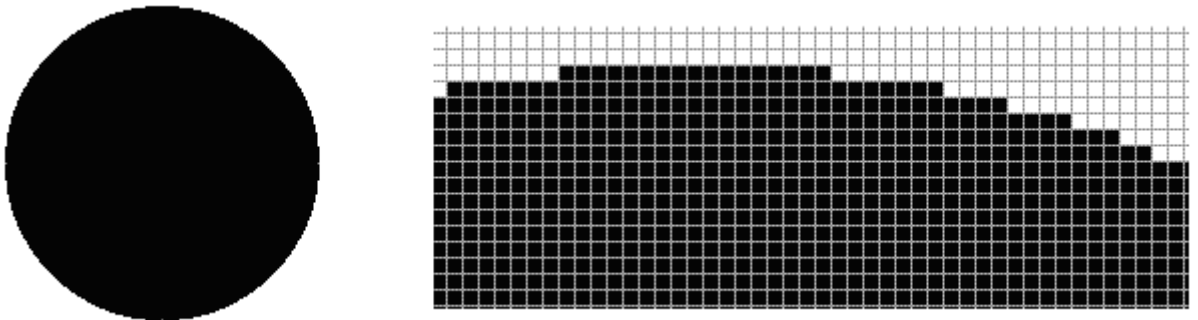


Рис. 4.9 – Приклад формування траєкторії кола

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Науково-технічна розробка має право на існування та впровадження, якщо вона відповідає вимогам часу, як в напрямку науково-технічного прогресу та і в плані економіки. Тому для науково-дослідної роботи необхідно оцінювати економічну ефективність результатів виконаної роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота з розробки та дослідження «Розробка методів і програмно-апаратних засобів кругової інтерполяції для задач комп'ютерної графіки» відноситься до науково-технічних робіт, які орієнтовані на виведення на ринок (або рішення про виведення науково-технічної розробки на ринок може бути прийнято у процесі проведення самої роботи), тобто коли відбувається так звана комерціалізація науково-технічної розробки. Цей напрямок є пріоритетним, оскільки результатами розробки можуть користуватися інші споживачі, отримуючи при цьому певний економічний ефект. Але для цього потрібно знайти потенційного інвестора, який би взявся за реалізацію цього проекту і переконати його в економічній доцільності такого кроку.

Для наведеного випадку нами мають бути виконані такі етапи робіт:

- 1) проведено комерційний аудит науково-технічної розробки, тобто встановлення її науково-технічного рівня та комерційного потенціалу;
- 2) розраховано витрати на здійснення науково-технічної розробки;
- 3) розрахована економічна ефективність науково-технічної розробки у випадку її впровадження і комерціалізації потенційним інвестором і проведено обґрунтування економічної доцільності комерціалізації потенційним інвестором.

5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Розробка методів і програмно-апаратних засобів кругової

інтерполяції для задач комп'ютерної графіки» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 5.1

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено працездатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки)					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає

Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до таблиці.

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Кавецький Вячеслав Валерійович		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	4	3	3
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	3	3	4
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	4	4	3
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	3	4	2
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	4	3	4
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	4	3
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	4	4	4
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	3	3
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	4	3	4
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	3	3	3
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	3	3	3
Сума балів	42	41	40
Середньоарифметична сума балів СБс	41,0		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 5.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 5.3

Таблиця 5.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів СБ , розрахована на основі висновків експертів	Науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки
41...48	Високий
31...40	Вище середнього
21...30	Середній
11...20	Нижче середнього
0...10	Низький

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Розробка методів і програмно-апаратних засобів кругової інтерполяції для задач комп'ютерної графіки» становить 41,0 бала, що, відповідно до таблиці 4.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки високий).

5.2 Визначення рівня конкурентоспроможності розробки

В процесі визначення економічної ефективності науково-технічної розробки також доцільно провести прогноз рівня її конкурентоспроможності за сукупністю параметрів, що підлягають оцінюванню.

Одиничний параметричний індекс розраховуємо за формулою:

$$q_i = \frac{P_i}{P_{базі}} \quad (5.1)$$

де q_i – одиничний параметричний індекс, розрахований за i -м параметром;

P_i – значення i -го параметра виробу;

$P_{базі}$ – аналогічний параметр базового виробу-аналога, з яким проводиться порівняння.

Загальні технічні та економічні характеристики розробки представлено

в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Основні техніко-економічні показники аналога та розробки, що проектується

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Точність формування зображення траєкторії кола	%	70	94	1,34	0,15
Простота апаратної реалізації	бал	6	8	1,33	0,1
Кількість різних пар виразів для визначення оціночної функції	шт.	8	4	2	0,3
Інтерполяційний крок	-	6	8	1,33	0,25
Кількість функціональних блоків	шт.	9	5	1,8	0,2
Експлуатаційні витрати	грн	160	120	0,75	0,45
Ціна інтерполятора кругової інтерполяції	грн	1100	1180	1,07	0,55

Нормативні параметри оцінюємо показником, який отримує одне з двох значень: 1 – пристрій відповідає нормам і стандартам; 0 – не відповідає.

Груповий показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами розраховуємо як добуток частинних показників за кожним параметром за формулою:

$$I_{III} = \prod_{i=1}^n q_i, \quad (5.2)$$

де I_{nn} – загальний показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами;

q_i – одиничний (частинний) показник за i -м нормативним параметром;

n – кількість нормативних параметрів, які підлягають оцінюванню.

За нормативними параметрами розроблюваний пристрій відповідає вимогам ДСТУ, тому $I_{nn} = 1$.

Значення групового параметричного індексу за технічними параметрами визначасмо з урахуванням вагомості (частки) кожного параметра:

$$I_{ТП} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (5.3)$$

де $I_{ТП}$ – груповий параметричний індекс за технічними показниками (порівняно з виробом-аналогом);

q_i – одиничний параметричний показник i -го параметра;

α_i – вагомість i -го параметричного показника, $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$;

n – кількість технічних параметрів, за якими оцінюється конкурентоспроможність.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці 5.4.

$$I_{mn} = 1,34 \cdot 0,15 + 1,33 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,3 + 1,33 \cdot 0,25 + 1,8 \cdot 0,2 = 1,63.$$

Груповий параметричний індекс за економічними параметрами розраховуємо за формулою:

$$I_{ЕП} = \sum_{i=1}^m q_i \cdot \beta_i, \quad (5.4)$$

де $I_{ЕП}$ – груповий параметричний індекс за економічними показниками;

q_i – економічний параметр i -го виду;

β_i – частка i -го економічного параметра, $\sum_{i=1}^m \beta_i = 1$;

m – кількість економічних параметрів, за якими здійснюється оцінювання.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці .

$$I_{EP} = 0,75 \cdot 0,45 + 1,07 \cdot 0,55 = 0,93.$$

На основі групових параметричних індексів за нормативними, технічними та економічними показниками розрахуємо інтегральний показник конкурентоспроможності за формулою:

$$K_{INT} = I_{HP} \cdot \frac{I_{TP}}{I_{EP}}, \quad (5.5)$$

$$K_{INT} = 1 \cdot 1,63 / 0,93 = 1,76.$$

Інтегральний показник конкурентоспроможності $K_{INT} > 1$, отже розробка переважає відомі аналоги за своїми техніко-економічними показниками.

Проведений в попередньому розділі аналіз показав, що найбільш доцільно розробляти методи та засоби комп'ютерної графіки на основі оцінювальної функції. Це обумовлено простотою обчислювального процесу, використання простих мікрооперацій, високою точністю інтерполювання, простотою програмної та апаратної реалізації. Особливість методу полягає у високій точності формування зображення траєкторії кола; відсутності корекції оцінювальної функції при переходах через границі октантів; відсутності «довгих операцій»; відносній простоті апаратної реалізації.

Алгоритм кругової інтерполяції може бути реалізований пристроєм, який містить накопичувальний суматор, два координатних лічильника, блок визначення різниці, комутатор і блок керування.

Введення в інтерполятор початкової установки накопичення суматора дозволяє підвищити точність інтерполяції порівняно з раніше відомим пристроєм в два рази, а введення блоку визначення різниці дозволяє

підвищити швидкодію інтерполятора, так як замість двох мікрооперацій додавання виконується одна.

5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Розробка методів і програмно-апаратних засобів кругової інтерполяції для задач комп'ютерної графіки», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

5.3.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.6)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=24$ дні.

$$Z_o = 12150,00 \cdot 24 / 24 = 12150,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту	12150,00	506,25	24	12150,00
Інженер-схемотехнік	11125,00	529,76	10	5297,62
Інженер-програміст	11100,00	528,57	15	7928,57
Спеціаліст з аналітичних досліджень	10565,00	503,10	8	4024,76
Консультант-аналітик цифрових обчислюваних систем комп'ютерної графіки	11250,00	535,71	4	2142,86
Технік	6800,00	323,81	11	3561,90
Всього				35105,71

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Розробка методів і програмно-апаратних засобів кругової інтерполяції для задач комп'ютерної графіки» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.7)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.8)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=2379,00$ грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [№24 у списку використаних джерел];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 24$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$C_1 = 2379,00 \cdot 1,10 \cdot 1,65 / (24 \cdot 8) = 22,40$ грн.

$З_{р1} = 25,70 \cdot 7,50 = 192,76$ грн.

Таблиця 5.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Установка офісного обладнання	7,50	2	1,10	22,40	168,00
Підготовка робочого місця розробника графічних систем	10,00	2	1,10	22,40	224,00
Інсталяція програмного забезпечення	4,00	5	1,70	39,72	158,88
Монтаж накопичувального суматора	2,00	4	1,50	35,05	70,10
Монтаж координатного лічильника	2,20	4	1,50	35,05	77,11
Монтаж блоку визначення різниці	2,50	4	1,50	35,05	87,62
Формування бази даних графічних компонентів	12,00	3	1,35	31,54	378,52
Монтаж комутатора	2,00	4	1,50	35,05	70,10
Монтаж блоку керування	2,10	4	1,50	35,05	73,60
Всього					1307,93

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників.

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{доп}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доп}}}{100\%}, \quad (5.9)$$

де $H_{\text{доп}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 12%.

$$Z_{\text{доп}} = (35105,71 + 1365,69) \cdot 12 / 100\% = 4376,57 \text{ грн.}$$

5.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{доп}}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (5.10)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (35105,71 + 1365,69 + 4376,57) \cdot 22 / 100\% = 8986,56 \text{ грн.}$$

5.3.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Розробка методів і програмно-апаратних засобів кругової інтерполяції для задач комп'ютерної графіки».

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{\text{в}j}, \quad (5.11)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

$C_{\theta j}$ – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$M_1 = 3,00 \cdot 86,00 \cdot 1,11 - 0,000 \cdot 0,00 = 286,38$ грн.

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 пачку, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір канцелярський офісний DATUM FZ 500-80 (A4)	86,00	3,00	-	-	286,38
Папір для заміток DATUM OFF 100-60 (A5)	55,00	3,00	-	-	183,15
Папір креслярський ВАТ-150 (A1)	22,00	11,00	-	-	268,62
Папір креслярський ВАТ-150 (A3)	14,00	15,00	-	-	233,10
Начиння канцелярське DATUM OZZ-5	210,00	4,00	-	-	932,40
Органайзер офісний DATUM FAX-35	110,00	4,00	-	-	488,40
Картридж для плотера (Canon JhR)	720,00	1,00	-	-	799,20
Картридж для принтера (Canon-1000)	824,00	2,00	-	-	1829,28
Диск оптичний ВJR-3 (CD-R)	13,00	3,00	-	-	43,29
Диск оптичний ВJR-3W (CD-RW)	14,00	3,00	-	-	46,62
FLASH-пам'ять Kingdom 10 C (64 ГБ)	410,00	1,00	-	-	455,10
Всього					5565,54

5.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Розробка методів і програмно-апаратних засобів кругової інтерполяції для задач комп'ютерної графіки», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (5.12)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, грн;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_6 = 1 \cdot 120,00 \cdot 1,11 = 133,20 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Накопичувальний суматор	1	120,00	133,20
Координатний лічильник	2	170,00	377,40
Блок визначення різниці	1	85,00	94,35
Комутатор	1	76,00	84,36
Блок керування	1	115,00	127,65
Блок живлення	1	45,00	49,95
Комплект інтерфейсів	1	174,00	193,14
Всього			1060,05

5.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{нр.і}} \cdot K_i, \quad (5.13)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{np.i}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{спец} = 4358,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 4793,80 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Графічний інтерполятор оціночної функції	1	4358,00	4793,80
Всього			4793,80

5.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{npz} = \sum_{i=1}^k C_{инpz} \cdot C_{npz.i} \cdot K_i, \quad (5.14)$$

де $C_{инpz}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{npz.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного

засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{\text{прз}} = 5310,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 5841,00 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.10 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
ОС Windows 10	1	5310,00	5841,00
Прикладний пакет Microsoft Office 2016	1	5120,00	5632,00
Всього			11473,00

5.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{\text{обл}} = \frac{Ц_{\text{б}}}{T_{\text{в}}} \cdot \frac{t_{\text{вик}}}{12}, \quad (5.15)$$

де $Ц_{\text{б}}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{\text{вик}}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{\text{в}}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{\text{обл}} = (24680,00 \cdot 1) / (3 \cdot 12) = 685,56 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Програмно-аналітичний комплекс	24680,00	3	1	685,56
Графічно-обчислювальний комплекс обробки даних	25310,00	3	1	703,06
Програмні засоби реалізації схемотехнічного рішення	9100,00	3	1	252,78
Обладнання виводу графічної інформації	8120,00	4	1	169,17
Місце оператора спеціалізоване	7640,00	5	1	127,33
Офісна оргтехніка	9250,00	5	1	154,17
Приміщення дослідницької лабораторії	310000,00	25	1	1033,33
Всього				3125,39

5.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (5.16)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 1,68$ грн;

(Кабінет Міністрів України постановою від 28.12.2020 р. №1325 встановив фіксовану ціну на електроенергію з 1 січня по 31 березня 2021 року, яка становитиме 1,68 грн за 1 кВт·год.)

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,24 \cdot 160,0 \cdot 1,68 \cdot 0,95 / 0,97 = 63,18 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.12 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Програмно-аналітичний комплекс	0,24	160,0	63,18
Графічно-обчислювальний комплекс обробки даних	0,45	160,0	306,00
Графічний інтерполятор оціночної функції	0,04	45,0	7,65
Обладнання виводу графічної інформації	0,32	10,0	13,60
Місце оператора спеціалізоване	0,15	160,0	102,00
Офісна оргтехніка	0,50	12,0	25,50
Всього			517,93

5.3.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Розробка методів і програмно-апаратних засобів кругової інтерполяції для задач комп'ютерної графіки» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (5.17)$$

де H_{cv} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo $H_{cv} = 20\%$.

$$B_{cv} = (35105,71 + 1365,69) \cdot 20 / 100\% = 7294,28 \text{ грн.}$$

5.3.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (5.18)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo $H_{cn} = 35\%$.

$$B_{cn} = (35105,71 + 1365,69) \cdot 35 / 100\% = 12764,99 \text{ грн.}$$

5.3.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ie}}{100\%}, \quad (5.19)$$

де H_{ie} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{ie} = 60\%$.

$$I_e = (35105,71 + 1365,69) \cdot 60 / 100\% = 21882,85 \text{ грн.}$$

5.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та

раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{нзв} = (З_o + З_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.20)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 112\%$.

$$B_{нзв} = (35105,71 + 1365,69) \cdot 112 / 100\% = 40847,98 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Розробка методів і програмно-апаратних засобів кругової інтерполяції для задач комп'ютерної графіки» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = З_o + З_p + З_{од} + З_n + M + K_e + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_e + B_{нзв}. \quad (5.21)$$

$$B_{заг} = 35105,71 + 1365,69 + 4376,57 + 8986,55 + 171 + 5565,54 + 1060,05 + 4793,80 + 11473,00 + 3125,39 + 617,95 + 7294,28 + 12764,99 + 21882,85 + 40847,98 = 159260,36 \text{ грн.}$$

Загальні витрати $ЗВ$ на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (5.22)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta=0,95$.

$$ЗВ = 159260,36 / 0,95 = 167642,48 \text{ грн.}$$

5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнюючим позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів тієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

Результати дослідження проведені за темою «Розробка методів і програмно-апаратних засобів кругової інтерполяції для задач комп'ютерної графіки» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

ΔN – збільшення кількості споживачів пристрою, у періоди часу, що аналізуються, від покращення його певних характеристик;

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	750	1700	2200	1800

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 7300 осіб;

C_o – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 1150,00 грн;

$\pm \Delta C_o$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 30,00 грн.

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta \Pi_i$ для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою:

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\vartheta}{100}\right), \quad (5.23)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2021 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).

Прийmemo $\rho = 20\%$;

ϑ – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2021 році $\vartheta = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (30,00 \cdot 7300,00 + 1180,00 \cdot 750) \cdot 0,83 \cdot 0,2 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 150271,00$$

грн.

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (30,00 \cdot 7300,00 + 1180,00 \cdot 2450) \cdot 0,83 \cdot 0,2 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 423326,56$$

грн.

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (30,00 \cdot 7300,00 + 1180,00 \cdot 4650) \cdot 0,83 \cdot 0,2 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 776692,59$$

грн.

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (30,00 \cdot 7300,00 + 1180,00 \cdot 6450) \cdot 0,83 \cdot 0,2 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1065810,24$$

грн.

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків $ПП$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^i}, \quad (5.24)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, грн;

T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau=0,11$;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} III &= 150271,00/(1+0,11)^1 + 423326,56/(1+0,11)^2 + 776692,59/(1+0,11)^3 + \\ &+ 1065810,24/(1+0,11)^4 = 135379,28 + 343581,34 + 567910,93 + 702082,22 = 1748953, \\ &76 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки:

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (5.25)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо $k_{инв}=2$;

$3B$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 167642,48 грн.

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 167642,48 = 335284,97 \text{ грн.}$$

Абсолютний економічний ефект $E_{абс}$ для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{абс} = III - PV \quad (5.26)$$

де $ПП$ – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 1748953,76 грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 335284,97 грн.

$E_{abc} = ПП - PV = 1748953,76 - 335284,97 = 1413668,79$ грн.

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$E_g = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (5.27)$$

де E_{abc} – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 1413668,79 грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 335284,97 грн;

$T_{ж}$ – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримання позитивних результатів від її впровадження, 4 роки.

$$E_g = \sqrt[4]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 = (1 + 1413668,79/335284,97)^{1/4} = 0,51.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій $\tau_{мін}$:

$$\tau_{мін} = d + f, \quad (5.28)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2021 році в Україні $d = 0,1$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, прийmemo 0,08.

$\tau_{\min} = 0,1 + 0,08 = 0,18 < 0,51$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Розробка методів і програмно-апаратних засобів кругової інтерполяції для задач комп'ютерної графіки» доцільно.

Період окупності інвестицій $T_{ок}$ які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (5.29)$$

де E_g – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 0,51 = 1,96 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Розробка методів і програмних засобів для медичної діагностики на основі морфологічного аналізу» становить 41,0 балів, що свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки високий).

При оцінюванні рівня конкурентоспроможності, згідно узагальненого коефіцієнту конкурентоспроможності розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,76 рази.

Також термін окупності становить 1,96 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може

спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Розробка методів і програмно-апаратних засобів кругової інтерполяції для задач комп'ютерної графіки».

ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу методів кругової інтерполяції обґрунтовано необхідність удосконалення методу оціночної функції для кругової інтерполяції.

2. Модифіковано метод кругової інтерполяції, який відрізняється від відомих використанням нових аналітичних залежностей для розрахунку оцінювальної функції, установці її початкового значення, що дозволило підвищити точність інтерполяції в два рази без істотних апаратних і часових витрат.

3. Запропоновано метод кругової інтерполяції, який відрізняється від відомих формуванням в кожному інтерполяційному такті не одного, і відразу двох крокових приростів, що дозволяє до двох разів зменшити час формування крокової траєкторії кола.

4. Вперше запропоновано метод антиаліазингу зображення крокових траєкторій кривих другого порядку, особливість якого полягає у використанні додаткових оцінювальних функцій, що дозволило спростити апаратну реалізацію.

5. Практичне значення одержаних результатів - розроблено алгоритми та програми для колового інтерполювання. Запропоновано структурну схему для апаратної реалізації колового інтерполятора.

6. Отримані в роботі наукові та практичні результати можна використати в високопродуктивних системах комп'ютерної графіки

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Петух А. М. Інтерполяція в задачах контурного формоутворення. Монографія. / А. М. Петух, Д. Т. Обідник, О. Н. Романюк. —Вінниця: ВНТУ.—2007. —142 с.
2. Романюк О. Н. Комп'ютерна графіка. Навчальний посібник. / О. Н. Романюк —Вінниця: УНІВЕСУМ-Вінниця —2001. —129 с.
3. Романюк О. Н. Нові підходи до реалізації функцій колової інтерполяції/ О. Н. Романюк, І. М. Якубішин, О. В. Сіденко //Вісник Вінницького політехнічного інституту. —2000. — №3. —С.85—88.
4. Романюк О. Н. Антиаліайзинг границі кола з використанням модифікованої оцінювальної функції / О. Н. Романюк, М. С. Курінний // Вісник Херсонського державного технічного університету. — 2003. — Вип. 3(19). — С. 206— 208.
5. Романюк О. Н. Антиаліайзинг границі кола з використанням модифікованої оцінювальної функції / О. Н. Романюк, М. С. Курінний // Вісник Херсонського державного технічного університету. — 2003. — Вип. 3(19). — С. 206— 208.
6. Романюк О. Н. Новий підхід до антиаліайзингу границь кіл з використанням табличного методу / О. Н Романюк., М. С. Курінний // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2005. — №1. —С. 146—150.
7. Романюк О.Н, Романюк О.В., Величко М.О. Аналіз методів кругової інтерполяції. The 12 th International scientific and practical conference «IMPACT OF MODERNITY ON SCIENCE AND PRACTICE» (12-13 April, 2020). Edmonton, Canada 2020.
8. Петух А.М., Обідник Д.Т., Ярко А.В. Модифікований метод оціночної функції при коловій інтерполяції // Вісник ВПІ. — 2001.— № 1.—С. 48–54.

9. Романюк А. Н. Системы отображения измерительной информации на основе программно-аппаратных и табличных интерполяторов: Дис ... канд. техн. наук. – Винница, 1988. – 221 с.
10. Derse J., Brown W., Losing H. Verbesserte Vehrfahren zur Bahninterpolation in rechnergestutzten numerischen Steuerungen // Regelungstechnik.– 1977.– №9.– S. 290-297.
11. Мухопад Ю.Ф., Гардер В.М. Таблично-алгоритмические функциональные преобразователи //Автоматика и вычислительная техника. – 1977.– №5.– С. 78–81.
12. Петух А. М. Інтерполяція при формуванні та перетворенні зображень // Вісник ВПІ. – 1994. – № 1. – С. 26–31.
13. Тормышев Ю.И. Технические средства машинной графики.– Минск: Наука и техника, 1987.– 192 с.
14. Тормышев Ю. И., Федоренко М. П. Методы и средства формирования шаговых траекторий. – Минск.: Наука и техника, 1980. – 144 с.
15. Романюк О. Н., Величко М. О. Методи кругової інтерполяції. The 12 th International scientific and practical conference (12-13 April, 2020) Edmonton, Canada 2020., 571 с.
16. Романюк О.Н., Величко М.О. Метод колової інтерполяції з формуванням у кожному такті двохкоординатних приростів. Матеріали X Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи, 2020 р.
17. Романюк О.Н., Величко М.О. Метод формування крокових траекторій. Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів «Молодь у світі сучасних технологій», МССТ-2020, Херсон, 2020 р.
18. Романюк О.Н., Дудник О.П., Величко М.О., Котлик В.С. Основні критерії оцінювання продуктивності та реалістичності систем кінцевої візуалізації. Інформаційні технології і автоматизація – 2021/ Матеріали XIV

міжнародної науково-практичної Конференції . Одеса, 21-22 жовтня 2021р. .
-Видавництво ОНАХТ, 2021 р. - с. 72-74.

19. Романюк О.Н., Величко М.О. Свідоцтво на реєстрацію авторського права на твір № 81825. Комп'ютерна програма для теселяції криволінійних тривимірних поверхонь з використанням кривих Чайкіна — Київ: Державний департамент інтелектуальної власності України. —Дата реєстрації: 28.08.2019..

20. Романюк О.Н., Величко М. О. Свідоцтво на реєстрацію авторського права на твір № 81825. Комп'ютерна програма для тріангуляції опуклих полігональних ділянок на трикутники з використанням метода Репперта —Київ: Державний департамент інтелектуальної власності України. —Дата реєстрації: 28.08.2019.

21. Херн Д., Бейкер М. Компьютерная графика и стандарт OpenGL. — М. : Издательский дом "Вильямс", 2005. — 1168 с.

22. Хилл Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики— Спб. : Питер, 2002. — 1088 с.

23. Цисарж В. В., Р. И. Марусин.. Математические методы компьютерной графики. — К. : Факт, 2004. — 464 с.

24. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

25. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепка – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

ДОДАТОК А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ
д.т.н., проф. О. Н. Романюк
"13" вересня 2021 р.

Технічне завдання
на магістерську кваліфікаційну роботу «Розробка методів і
програмно-апаратних засобів кругової інтерполяції для задач
комп'ютерної графіки» за спеціальністю 121 – Інженерія програмного
забезпечення

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:

д.т.н., проф. О.Н. Романюк

" ____ " _____ 2021 р.

Виконав:

студент гр.2ПІ 20м М.О. Величко

" ____ " _____ 2021 р.

Вінниця – 2021 року

1. Найменування та галузь застосування

Бакалаврська дипломна робота: «Розробка програмних засобів для колової інтерполяції».

Галузь застосування – системи комп'ютерної графіки.

2. Підстава для розробки.

Підставою для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) є індивідуальне завдання на МКР та наказ № 277 « 24 » вересня 2021 р. ректора по ВНТУ про закріплення тем МКР.

3. Мета та призначення розробки.

Метою роботи є підвищення продуктивності та точності колового інтерполювання за рахунок модифікації та використання існуючих методів.

Призначення роботи – розробка методів і засобів колового інтерполювання.

4 Вихідні дані для проведення НДР

Перелік основних літературних джерел, на основі яких буде виконуватись МКР.

1. Романюк О.Н. Комп'ютерна графіка. Навчальний посібник / О. Н. Романюк – Вінниця: ВДТУ, 1999. – 130 с.
2. Херн Д., Бейкер М. Компьютерная графика и стандарт OpenGL / Д. Херн , М. Бейкер. — М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. — 1168 с.

5. Технічні вимоги

Тип інтерполяції - кругова; метод інтерполяції – метод оцінювальної функції; розмір координатного простору – 2028x2048; кольоровий режим – TrueColor.

6. Конструктивні вимоги

Конструкція пристрою повинна відповідати естетичним та ергономічним вимогам, повинна бути зручною в обслуговуванні та керуванні.

Графічна та текстова документація повинна відповідати діючим стандартам України.

7. Перелік технічної документації, що пред'являється по закінченню робіт:

- пояснювальна записка до МКР;
- технічне завдання;
- лістинги програми.

8. Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації

При розробці програмних засобів слід дотримуватися уніфікації і ДСТУ.

9. Стадії та етапи розробки:

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз методів колової інтерполяції	14.09.21– 28.09.21	Виконано
2	Розробка модифікованого методу оцінювальної функції	29.09.21– 15.10.21	Виконано
3	Розробка методу колової інтерполяції з формуванням комбінованих приростів	16.10.21– 30.10.21	Виконано
4	Розробка засобів колового інтерполювання	1.11.21 – 15.11.21	Виконано
5	Розробка методу антиаліайзингу зображення крокової траєкторії кіл	16.11.21– 20.11.21	Виконано
6	Економічна частина	20.11.21– 23.11.21	Виконано
7	Тестування розроблених програмних засобів	23.11.21– 01.12.21	Виконано

10. Порядок контролю та прийняття.

Виконання етапів магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи.

Прийняття магістерської кваліфікаційної роботи здійснюється ДЕК, затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком

Студент групи 2пі-20м Величко М.О.

ДОДАТОК Б – Протокол перевірки на плагіат

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: **Розробка методів і програмно-апаратних засобів кругової інтерполяції для задач комп'ютерної графіки.**

Тип роботи: кваліфікаційна робота

Підрозділ : кафедра програмного забезпечення, ФІТКІ, 2ПІ – 20м

Науковий керівник: д.т.н. проф. Романюк О. Н.

Unicheck	
Оригінальність	90,5 %
Схожість	9,5 %

Аналіз звіту подібності

■ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомена з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи «Розробка методів і програмно-апаратних засобів кругової інтерполяції для задач комп'ютерної графіки».

Автор _____
Олександрович

Величко Михайло

Опис прийнятого рішення: **допустити до захисту**

Особа, відповідальна за перевірку _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

Черноволик Г. О.

Експерт _____

(за потреби) (підпис)

_____ (прізвище, ініціали, посада)

ДОДАТОК В

Лістинги програмного модуля

```
unit Test2D;
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, GR32_Image, ExtCtrls, Spin, Buttons, Math;

type
  TForm1 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Button3: TButton;
    Edit1: TEdit;
    Image1: TImage;
    Image2: TImage;
    Button4: TButton;
    ComboBox1: TComboBox;
    ComboBox2: TComboBox;
    SpinEdit1: TSpinEdit;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Edit3: TEdit;
    Button5: TButton;
    Bevel1: TBevel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure Button3Click(Sender: TObject);
    procedure Button4Click(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure SpinEdit1Change(Sender: TObject);
    procedure Button5Click(Sender: TObject);

  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
```



```

function CalcSField(yp,ypold,Z:integer):integer;
function CalcVLine(d:integer):integer;
function CalcV(d:integer):integer;
function CalcVSquare(d:integer):integer;
function CalcVSq(d:integer):integer;
function CalcVReal(d:real):integer;

procedure DrawWuCircle(R:integer;ACanvas:TCanvas;Black:boolean);
procedure DrawGuptaSproulLine(dx,dy:integer;ACanvas:TCanvas);
procedure DrawGuptaSproulLine2(dx,dy:integer;ACanvas:TCanvas);
procedure DrawGuptaSproulLineReal(dx,dy:integer;ACanvas:TCanvas);
procedure DrawGuptaSproulLineVstr(dx,dy:integer;ACanvas:TCanvas);
procedure DrawGuptaSproulLine2Vstr(dx,dy:integer;ACanvas:TCanvas);
procedure DrawGuptaSproulLineRealVstr(dx,dy:integer;ACanvas:TCanvas);
procedure DrawFieldCircle(R:integer; ACanvas:TCanvas;Black:boolean);
procedure DrawModOFCircle(R:integer;ACanvas:TCanvas;Black:boolean);
procedure DrawDopOFCircle(R:integer;ACanvas:TCanvas;Black:boolean);

procedure CalcTableWu;
procedure LoadTable;
procedure DrawPixelsC(size:integer; ACanvas1:TCanvas);
procedure ClearPixelsC(size:integer);
function CheckOF4New(OFunc,xp,yp:integer):integer;
function Integral(xa,xb,R:real):real;
function SReal(R,xp,yp:integer):integer;
procedure DrawRealCircle(R:integer;ACanvas:TCanvas;Black:boolean);
var
  Form1: TForm1;
  Table: array [0..1005] of real;
  TableWu: array [0..1024,0..1024] of byte;
  str1:string;
  maximer:real;
  step:integer;
  xs,ys:integer;
  hold,hnew:integer;
  Sn:integer;
  Su,yold,ynew:integer;
  PixelsC: array [0..1000,0..1000] of integer;
implementation
{$R *.DFM}
//////////CALC V using Linear Approx!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!1

```

```

function CalcVLine(d:integer):integer;
var
  S,dp,dp1,dp2,V1,V2,t,d1,d2:integer;
  one:integer;
begin
  one:=1 shl 10;
  t:=one shr 1;
  dp:=abs(d);
  d1:=dp+t;
  dp1:=abs(d1);
  if(dp1 > one) then dp1:=one;
  V1:=CalcV(dp1);
  if d1<0 then V1:=one-V1;
  d2:=dp-t;
  dp2:=abs(d2);
  if(dp2 > one) then dp2:=one;
  V2:=CalcV(dp2);
  if d2<0 then V2:=one-V2;
  if V1<0 then V1:=0;
  if V1>one then V1:=one;
  if V2<0 then V2:=0;
  if V2>one then V2:=one;

  S:=V1-V2;
  if S<0 then S:=0;
  if S>one then S:=one;
  result:=S shr 2;
end;

function CalcV(d:integer):integer;
  var
    one:integer;
    three:integer;
    d1:integer;
  begin
    one:=1 shl 10;
    three:=3 shl 10;
    if (d < 256) then d1:=512+((29*d) shr 5)
    else
    if (d < 512) then d1:=576+((d*85) shr 7)
    else

```

```

if (d < 768) then d1:=734+((d*91) shr 8)
else
d1:=944+((d*41) shr 9);
result:=d1;
end;
//////////CALC V using 2-nd degree polynom
function CalcVSquare(d:integer):integer;
var
S,dp,dp1,dp2,V1,V2,t,d1,d2:integer;
one:integer;
begin
one:=1 shl 10;
t:=one shr 1;
dp:=abs(d);
d1:=dp+t;
dp1:=abs(d1);
if(dp1 > one) then dp1:=one;
V1:=CalcVSq(dp1);
if d1<0 then V1:=one-V1;
d2:=dp-t;
dp2:=abs(d2);
if(dp2 > one) then dp2:=one;
V2:=CalcVSq(dp2);
if d2<0 then V2:=one-V2;
S:=V1-V2;
if S<0 then S:=0;
if S>one then S:=one;
result:=(S shr 2);
end;
function CalcVSq(d:integer):integer;
var
one:integer;
d1:integer;
begin
one:=1 shl 10;
if d>= one then begin result:=one; exit; end;
d1:=(d*d) shr 10;
d1:=(one shr 1)+d-(d1 shr 1);
if d1 > one then d1:=one;
if d1 < 0 then d1:=0;
result:=d1;

```

```

end;
procedure DrawGuptaSproulLineVstr(dx,dy:integer;ACanvas:TCanvas);
var
delta,BP,MP,OF1:integer;
xlim,Z,x,y,d,T,d_up,d_down:integer;
lp:integer;
er,maxe:real;
d_real:real;
begin
Z:=1 shl 20;
BP:=round((dx*Z)/sqrt(dx*dx+dy*dy));
MP:=round((dy*Z)/sqrt(dx*dx+dy*dy));
  maxe:=0;
OF1:=BP shr 1;
delta:=BP-MP;
x:=0;y:=0;
xlim:=(dx+1) shr 1;
while(x<xlim) do
begin
if (OF1>=0) then OF1:=OF1-MP
else OF1:=OF1+delta;
if (OF1>=0) then
begin
  x:=x+1;
  d:=(BP shr 1)-OF1;
  d_up:=d-BP;
  d_down:=d+BP;
end
else
begin
  x:=x+1;y:=y+1;
  d:=-OF1-(BP shr 1);
  d_up:=d-BP;
  d_down:=d+BP;
end;
end;
// main pixel
lp:=CalcVLine((d div (1 shl 10)));
if lp>255 then lp:=255;
maximer:=lp;
PixelsC[x,y]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
PixelsC[y,x]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);

```

```

PixelsC[dx-x,dy-y]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
PixelsC[dy-y,dx-x]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
/// upper pixel
lp:=CalcVLine((d_up div (1 shl 10)));
if lp>255 then lp:=255;
  maximer:=lp;
  PixelsC[x,y+1]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
  PixelsC[y+1,x]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
if (dy-y-1)>0 then
begin
  PixelsC[dx-x,dy-(y+1)]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
  PixelsC[dy-(y+1),dx-x]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
end;
/// low pixel
lp:=CalcVLine((d_down div (1 shl 10)));
if lp>255 then lp:=255;
  maximer:=lp;
if(y>0) then begin
  PixelsC[x,y-1]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
  PixelsC[y-1,x]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
  end;
  if (dy-y+1)>0 then
begin
  PixelsC[dx-x,dy-(y-1)]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
  PixelsC[dy-(y-1),dx-x]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
  end;
end;
maximer:=maxe;
end;

procedure DrawGuptaSproulLineRealVstr(dx,dy:integer;ACanvas:TCanvas);
var
T,delta,BP,MP,OF1,d,d_up,d_down:real;
x,y:integer;
lp:integer;
er,maxe:real;
d_real:real;
xlim:integer;
begin
T:=sqrt(dx*dx+dy*dy);

```

```

BP:=dx/T;
MP:=dy/T;
  maxe:=0;
OF1:=BP/2;
delta:=BP-MP;
x:=0;y:=0;
xlim:=(dx+1) shr 1;
while(x<xlim) do
begin
  if (OF1>=0) then OF1:=OF1-MP
  else OF1:=OF1+delta;

  if (OF1>=0) then
  begin
    x:=x+1;
    d:=(BP/2)-OF1;
    d_up:=d-BP;
    d_down:=d+BP;
  end
  else
  begin
    x:=x+1;y:=y+1;
    d:=-OF1-(BP/2);
    d_up:=d-BP;
    d_down:=d+BP;
  end;
  lp:=CalcVReal(d);
  if lp>255 then lp:=255;
  PixelsC[x,y]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
  PixelsC[y,x]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
  PixelsC[dx-x,dy-y]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
  PixelsC[dy-y,dx-x]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
  lp:=CalcVReal(d_up);
  if lp>255 then lp:=255;
  PixelsC[x,y+1]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
  PixelsC[y+1,x]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
  if (dy-y-1)>0 then
  begin
    PixelsC[dx-x,dy-(y+1)]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
    PixelsC[dy-(y+1),dx-x]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
  end;
end;

```

```

lp:=CalcVReal(d_down);
  if lp>255 then lp:=255;
if(y>0)
then begin
  PixelsC[x,y-1]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
  PixelsC[y-1,x]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
end;
if (dy-y+1)>0 then
begin
  PixelsC[dx-x,dy-(y-1)]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
  PixelsC[dy-(y-1),dx-x]:=RGB(255-lp,255-lp,255-lp);
end;
end;
end;
procedure CalcTableWu;
var
r,j:integer;
sq:real;
begin
for r:=1 to 1024 do
begin
for j:=1 to r do
begin
sq:=sqrt(r*r*1.0-j*j*1.0);
TableWu[r,j]:=floor(255*( Ceil(sq)*1.0 - sq)+0.5);
end;
end;
end;
end;
procedure DrawWuCircle(R:integer;ACanvas:TCanvas;Black:boolean);
var
c1,j,x,y:integer;
l,T,D:byte;
begin
x:=R;
y:=0;
T:=0;
if (Black) then
begin
PixelsC[x,y]:=clBlack;
PixelsC[y,x]:=clBlack;
c1:=clBlack;

```

```

end
else
begin
PixelsC[x,y]:=clWhite;
PixelsC[y,x]:=clWhite;
c1:=clWhite;
end;
if (Black) then ACanvas.Pen.Color:=clBlack else ACanvas.Pen.Color:=clWhite;
while(y<(x-1)) do
begin
  y:=y+1;
  D:=TableWu[R,y];
  if (D<T) then x:=x-1;
  if (Black) then l:=not D else l:=D;
  PixelsC[x,y]:=RGB(255-l,255-l,255-l);
  T:=D;
  ACanvas.MoveTo(y,0); ACanvas.LineTo(y,x);
  PixelsC[y,x]:=RGB(255-l,255-l,255-l);
end;
end;
procedure DrawFieldCircle(R:integer; ACanvas:TCanvas;Black:boolean);
var
x,y:integer;
f2:integer;
c1,i,Z,R1:integer;
lp1,lp:integer;
ypo,hi,hi1,k2,k,d,d1,d2,er,erm,yp1,yp2,yp:integer;
begin
Z:=256;
y:=R*Z;
x:=0;
f2:=R*R*Z*Z-Z*(Z div 4);
yp2:=round(Z*sqrt(R*R-0.5*0.5));
yp1:=round(Z*sqrt(R*R-1.5*1.5));
yp:=yp1;
ypo:=yp1;
hi:=64;
// PutPixels 0,1,2
if (not Black) then ACanvas.Pen.Color:=clWhite else ACanvas.Pen.Color:=clBlack;
  if (Black) then begin lp:=255-Su; lp1:=255-Sn;c1:=clBlack; end
  else begin lp:=Su; lp1:=Sn;c1:=clWhite; end;

```



```

lp:=CalcSField(yp2,yp2,Z);
if (Sn = -1) then
  begin
    if (Black) then lp:=255-Su else lp:=Su;
    PixelsC[x,yold]:=RGB(lp,lp,lp);
    PixelsC[yold,x]:=RGB(lp,lp,lp);
  end
else
  begin
    if (Black) then begin lp:=255-Su; lp1:=255-Sn; end
    else begin lp:=Su; lp1:=Sn; end;
    PixelsC[x,yold]:=RGB(lp,lp,lp);
    PixelsC[x,ynew]:=RGB(lp1,lp1,lp1);
    PixelsC[yold,x]:=RGB(255-Su,255-Su,255-Su);
    PixelsC[ynew,x]:=RGB(255-Sn,255-Sn,255-Sn);
  end;
x:=x+1;
lp:=CalcSField(yp1,yp2,Z);
if (Sn = -1) then
  begin
    if (Black) then begin lp:=255-Su; lp1:=255-Sn; end
    else begin lp:=Su; lp1:=Sn; end;
    PixelsC[x,yold]:=RGB(lp,lp,lp);
    PixelsC[yold,x]:=RGB(lp,lp,lp);
  end
else
  begin
    if (Black) then begin lp:=255-Su; lp1:=255-Sn; c1:=clBlack; end
    else begin lp:=Su; lp1:=Sn; c1:=clWhite;end;
    PixelsC[x,yold]:=RGB(lp,lp,lp);
    PixelsC[x,ynew]:=RGB(lp1,lp1,lp1);
    PixelsC[yold,x]:=RGB(lp,lp,lp);
    PixelsC[ynew,x]:=RGB(lp1,lp1,lp1);
  end;
while(x<y) do
  begin
    f2:=f2-2*x*Z*Z-Z*Z-2*Z*Z;
    x:=x+1;
    yp:=2*yp1-yp2;
    ////////////minimize error
    er:=yp*yp-f2;
  end
end

```

```

if (er > 0) then
  begin
    d:=-1;
    erm:=er;
    k:=0;
    k2:=0;
    while(erm>0) do
      begin
        erm:=erm-2*yp+2*k+1;

        k:=k+1;
      end;
      yp:=yp-k+1;
    end
  else
    begin
      d:=1;
      erm:=er;
      k:=0;
      k2:=0;
      while(erm<0) do
        begin
          erm:=erm+2*yp+2*k+1;
          k:=k+1;
        end;
        yp:=yp+k-1;
      end;
    end;
  lp:=CalcSField(yp,ypo,Z);
  if (Sn = -1) then
    begin
      if (Black) then begin lp:=255-Su; lp1:=255-Sn;c1:=clBlack; end
      else begin lp:=Su; lp1:=Sn;c1:=clWhite; end;
      PixelsC[x,yold]:=RGB(lp,lp,lp);
      ACanvas.MoveTo(x,0); ACanvas.LineTo(x,yold);
      PixelsC[yold,x]:=RGB(lp,lp,lp);
      y:=yold;
    end
  else
    begin
      if (Black) then begin lp:=255-Su; lp1:=255-Sn; c1:=clBlack;end
      else begin lp:=Su; lp1:=Sn; c1:=clWhite; end;
    end
  end

```

```
    PixelsC[x,yold]:=RGB(lp,lp,lp);
    PixelsC[x,ynew]:=RGB(lp1,lp1,lp1);
    PixelsC[yold,x]:=RGB(lp,lp,lp);
    PixelsC[ynew,x]:=RGB(lp1,lp1,lp1);
    if (Black) then begin c1:=clBlack; end
      else begin c1:=clWhite; end;
    y:=ynew;

    end;
  yp1:=yp;
  yp2:=yp1;
  ypo:=yp;
  end;
end;
```

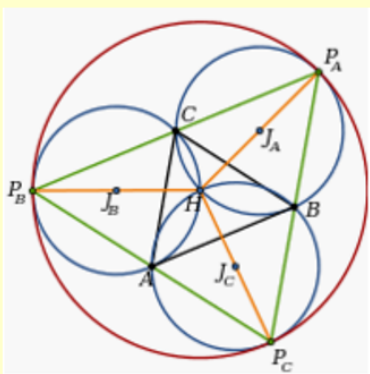
ДОДАТОК Г

Ілюстративна частина

РОЗРОБКА МЕТОДІВ І ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ КРУГОВОЇ
ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ДЛЯ ЗАДАЧ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Розробка методів і програмно-апаратних засобів
кругової інтерполяції для задач комп'ютерної
графіки



Студент гр. 2ПІ-20М Величко М.О.
Науковий керівник - д.т.н. проф.
Романюк О.Н.

Вінниця – 2020

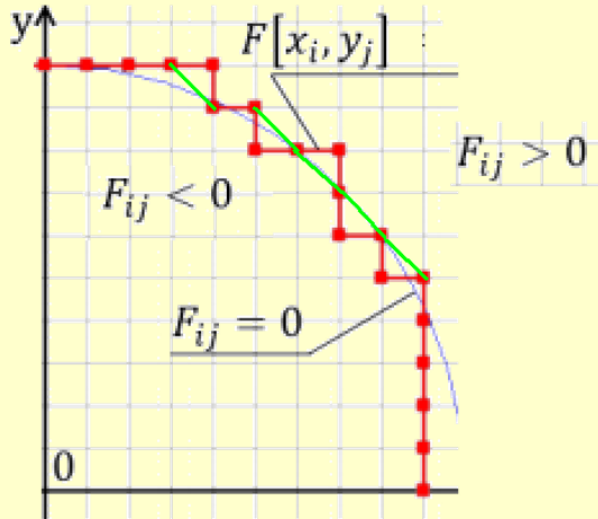
1

Мета та завдання дослідження

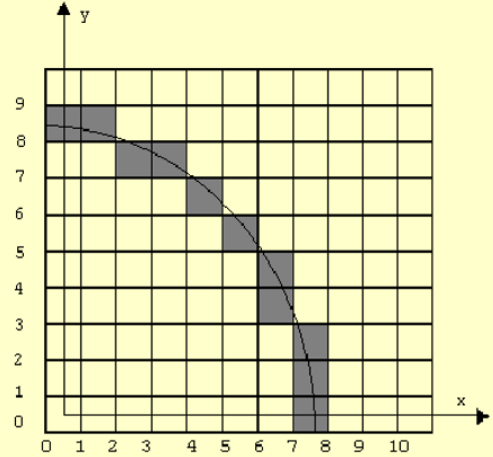
- **Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення продуктивності та точності колового інтерполювання за рахунок модифікації та використання існуючих методів.
- **Об'єкт дослідження** – процес колового інтерполювання при формуванні графічних зображень.
- **Предмет дослідження** – методи і засоби колового інтерполювання у систем комп'ютерної графіки.
- **Завдання дослідження**
 - Провести аналіз методів і засобів колового інтерполювання.
 - Модифікувати метод кругової інтерполяції з метою підвищення точності формування крокової траєкторії.
 - Розробити метод колової інтерполяції з формуванням комбінованих крокових приростів.
 - Розробити метод та засоби антиаліазингу зображень крокової траєкторії кола.
 - Розробити алгоритми та програмні засоби.
 - Провести експериментальні дослідження з метою перевірки достовірності прийнятих рішень та отримання порівняльних характеристик.

2

Метод оцінювальної функції

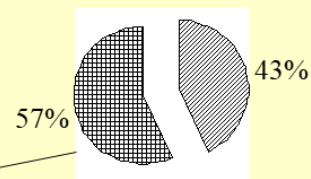
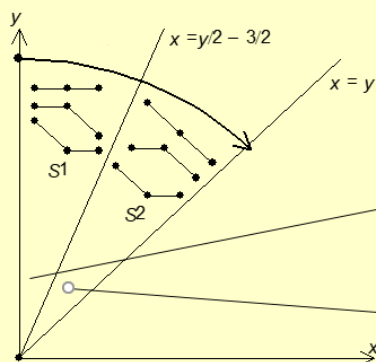


$$O\Phi_i = (x_i^2 + y_i^2) - R^2$$

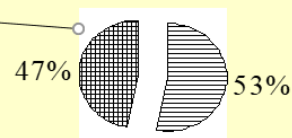


3

Метод формування кола подвійними приростами



▨ Питома вага подвійних діагональних приростів
▣ Питома вага комбінованих приростів

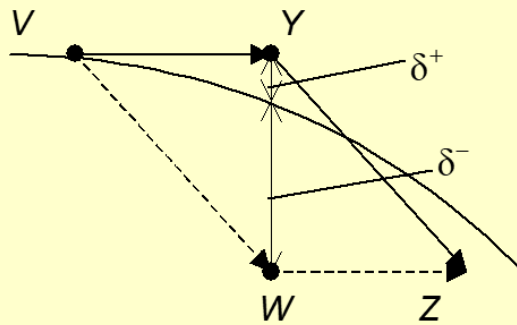


▨ Питома вага подвійних горизонтальних приростів
▣ Питома вага комбінованих приростів (прирости типу 01, 10).

У секторі S2 неможлива поява двох послідовних горизонтальних координатних приростів, а в секторі S1-двох діагональних кроків

4

Похибки колового інтерполювання



Похибки колового інтерполювання для приростів типу 01 та 10.

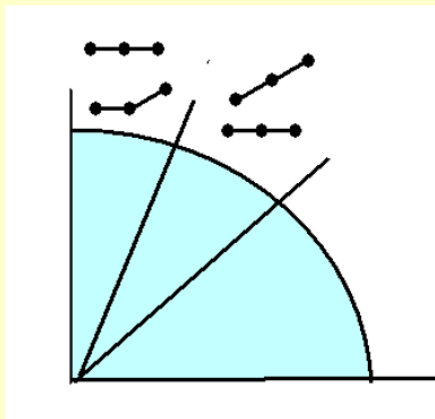
Можливе заміна двох сполучень крокових приростів типу 01, 10 одним із них. В цьому випадку похибка інтерполювання не буде перевищувати кроку дискретизації.

Формування крокової траєкторії двома типами фіксованих подвійних приростів забезпечує резерв для збільшення швидкості реалізації колового інтерполювання.

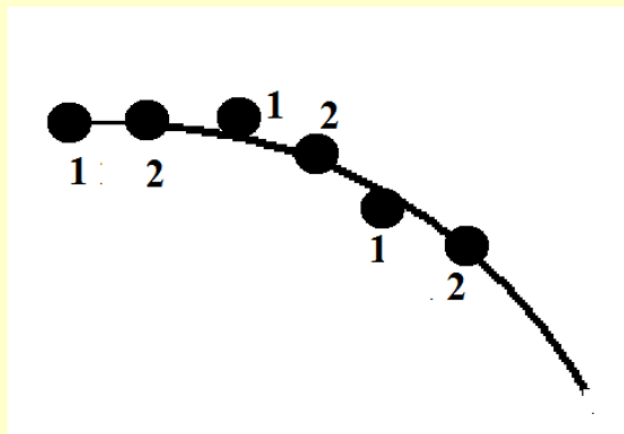
Заміна переміщень VY , YZ (приріст типу 01) на переміщення VW , WZ приведе до переходу від інтерполювання з похибкою δ^+ до інтерполювання з похибкою δ^- . Враховуючи, що відстань від точки Y до точки W дорівнює одній дискреті, можна констатувати, що похибка інтерполювання при цьому не буде перевищувати кроку дискретизації, що є для алгоритмів машинної графіки цілком прийнятним.

5

Метод формування кіл подвійними приростами



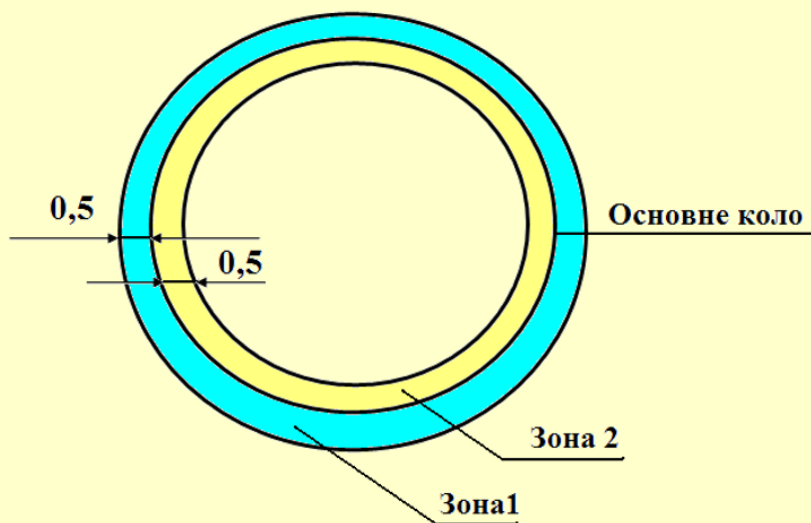
Алгоритм 1. Формують оцінювальні функції, які визначають подвійні прирости. Модифікують оцінювальні функції після виконання комбінованих переміщень.



Алгоритм 2. Формують оцінювальні функції $OF1$, $OF2$. Враховуючи неможливість формування в секторі $S1$ подвійного приросту 11, знаки функцій $OF1$ та $OF2$ однозначно визначають типи подвійних приростів. Якщо $OF1 \geq 0$, $OF2 \geq 0$, то формується приріст 00, якщо $OF1 \geq 0$, $OF2 < 0$ – приріст 01, а якщо $OF1 < 0$, $OF2 < 0$, то приріст 10 (вказане має місце, якщо від'ємне значення оцінювальної функції визначає діагональний крок).

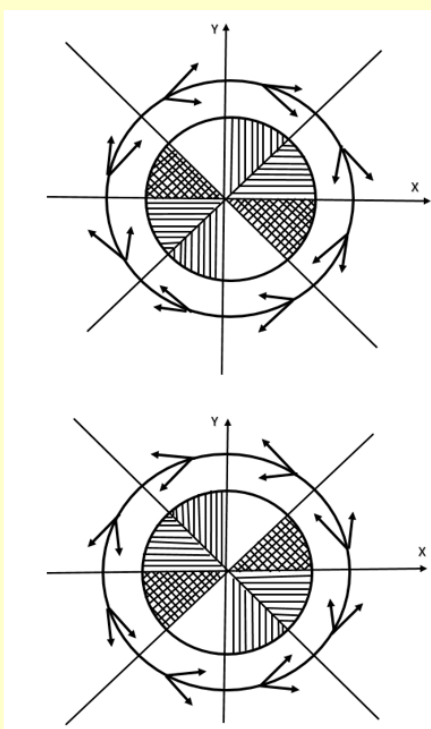
6





Обмеження на оцінювальну функцію



7

Типи крокових переміщень і формули для розрахунку оцінювальних функцій

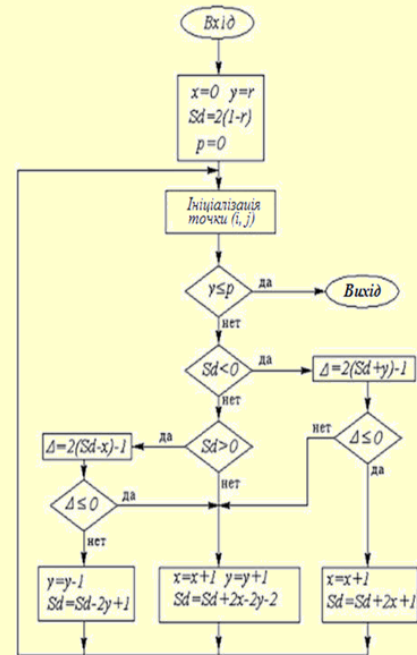


Тип штриховки	Вирази для визначення оцінювальної функції	
	$OF_i \geq 0$	$OF_i < 0$
 вертикальна	$OF_{i+1} = OF_i + 2X_i - 2Y_i + 2$ $X_{i+1} = X_i + 1$ $Y_{i+1} = Y_i - 1$	$OF_{i+1} = OF_i + 2X_i + 1$ $X_{i+1} = X_i + 1$ $Y_{i+1} = Y_i$
 горизонтальна	$OF_{i+1} = OF_i - 2Y_i + 1$ $X_{i+1} = X_i$ $Y_{i+1} = Y_i - 1$	$OF_{i+1} = OF_i + 2X_i - 2Y_i$ $X_{i+1} = X_i + 1$ $Y_{i+1} = Y_i - 1$
 наклонна	$OF_{i+1} = OF_i - 2X_i + 2Y_i + 2$ $X_{i+1} = X_i - 1$ $Y_{i+1} = Y_i + 1$	$OF_{i+1} = OF_i + 2Y_i + 1$ $X_{i+1} = X_i$ $Y_{i+1} = Y_i + 1$
 без штриховки	$OF_{i+1} = OF_i - 2X_i + 1$ $X_{i+1} = X_i - 1$ $Y_{i+1} = Y_i$	$OF_{i+1} = OF_i - 2X_i + 2Y_i$ $X_{i+1} = X_i - 1$ $Y_{i+1} = Y_i + 1$

8

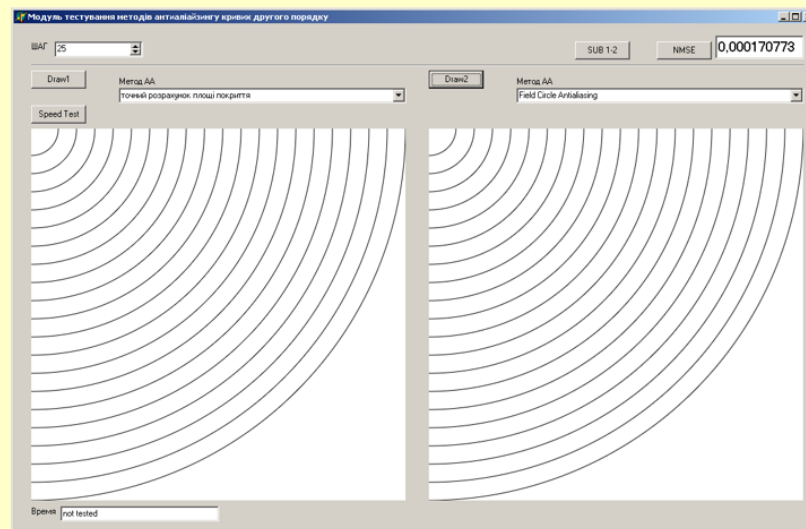
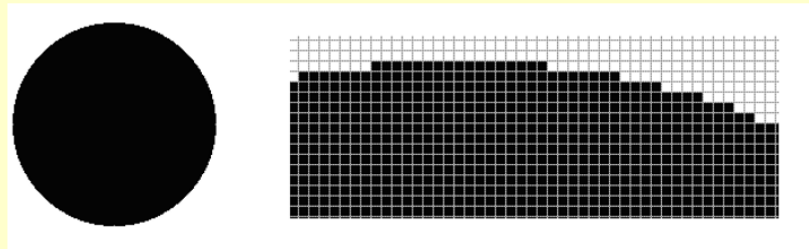
Алгоритм формування кола

- Алгоритм вибору координатного прирості включає перевірку таких умов:
- Якщо $Di < 0$:
- якщо $d \leq 0$ вибираємо напрям H , тобто піксель $(xi + 1, yi)$;
- якщо $d > 0$ вибираємо напрям D , тобто піксель $(xi + 1, yi - 1)$;
- если $Di > 0$:
- якщо $d' \leq 0$ вибираємо напрям D , тобто піксель $(xi + 1, yi - 1)$;
- якщо $d' > 0$ вибираємо напрям V , тобто піксель $(xi, yi - 1)$;
- $Di = 0$ D , тобто піксель $(xi + 1, yi - 1)$.
- При переході до поточного пікселя можна використати такі вирази :
- при кроці в горизонтальному напрямку H :
 $xi+1 = xi + 1$; $yi+1 = yi$; $Di+1 = Di + 2xi+1 + 1$;
- при кроці у діагональному напрямку D :
 $xi+1 = xi + 1$; $yi+1 = yi - 1$; $Di+1 = Di + 2xi+1 - 2yi+1 + 2$;
- при вертикальному напрямку V :
 $xi+1 = xi$; $yi+1 = yi - 1$; $Di+1 = Di - 2yi+1 + 1$.



9

Інтерфейс програми



10

Структурна схема кругового інтерполятора



11

Наукова новизна. Практичне значення одержаних результатів.

- **Наукова новизна** результатів, отриманих у магістерській кваліфікаційній роботі:
- - Модифіковано метод кругової інтерполяції, який відрізняється від відомих використанням нових аналітичних залежностей для розрахунку оцінювальної функції, установці її початкового значення, що дозволило підвищити точність інтерполяції в два рази без істотних апаратних і часових витрат.
- - Запропоновано метод кругової інтерполяції, який відрізняється від відомих формуванням в кожному інтерполяційному такті не одного, і відразу двох крокових приростів, що дозволяє до двох разів зменшити час формування крокової траєкторії кола.
- - Вперше запропоновано метод антиаліазингу зображення крокових траєкторій кривих другого порядку, особливість якого полягає у використанні додаткових оцінювальних функцій, що дозволило спростити апаратну реалізацію.
- **Практичне значення одержаних результатів.** Розроблено алгоритми та програми для колового інтерполювання. Запропоновано структурну схему для апаратної реалізації колового інтерполятора
- **Апробація роботи** матеріали бакалаврської кваліфікаційної роботи доповідались на:
 - - The 12 th International scientific and practical conference «IMPACT OF MODERNITY ON SCIENCE AND PRACTICE» (12-13 April, 2020). Edmonton, Canada 2020.
 - - Науково практичній конференції [Молодь в науках: дослідження, проблеми, перспективи \(Вінниця 2020р.\)](#).
 - X Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Молодь у світі сучасних технологій», МССТ-2020, Херсон, 2020 р .
 - - XIV міжнародній науково- практичній конференції «Інформаційні технології і автоматизація» Одеса, 21-22 жовтня 2021р.
- **Публікації.** За тематикою дослідження опубліковано 7 наукових праць, у тому числі 2 свідоцтва на реєстрацію авторського права на твір.

12

ДОДАТОК Д

Диплом переможця Міжнародного конкурсу «SPAIN STAR PRODUCTION».



Сертифікат за активну участь у національній конференції “IMPACT OF MODERN ON SCIENCE AND PRACTICE”

