

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КЛАСИЧНОГО МЕТОДУ ПОВЕРТАННЯ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Проведено дослідження властивостей класичного методу повертання зображень. Отримано оцінку спотворень зображення при обробці його класичним алгоритмом повертання. Встановлено вплив кута повертання на кількість накладань точок зображення. Запропоновано шляхи удосконалення методу.

Проведено исследование свойств классического метода поворота изображений. Получена оценка искажений изображения при обработке его классическим алгоритмом поворота. Установлено влияние угла поворота на количество наложенных точек изображения. Предложены пути улучшения метода.

Сутність класичного методу повертання зображень полягає в тому, що для кожної точки зображення при повертанні її на довільний кут φ відносно початку координат O , застосовуються співвідношення:

$$\begin{cases} x' = x \cos j - y \sin j \\ y' = x \sin j + y \cos j \end{cases} \quad (1)$$

де x' та y' – нові координати точки P , що повертається (рис. 1).

Співвідношення (1) вказують на характер виконуваних обчислень при отриманні координат кожної точки. Реалізація таких перетворень вимагає у загальному випадку чотирьох операцій множення, обчислення тригонометричних функцій та додавання для кожної з двох координат точки. Це ускладнює застосування такого методу для побудови перетворювачів у реальному масштабі часу. Однак для обробки зображень у випадках, коли нема обмежень за швидкістю, за цим методом можуть працювати алгоритми повертання растрових зображень. Для застосування таких алгоритмів потрібно досконало знати властивості застосовуваних методів.

Оскільки зображення повертається в дискретному координатному просторі дисплею, то при застосуванні класичного алгоритму можна спостерігати такі явища деформації площини зображення (рис. 2.2):

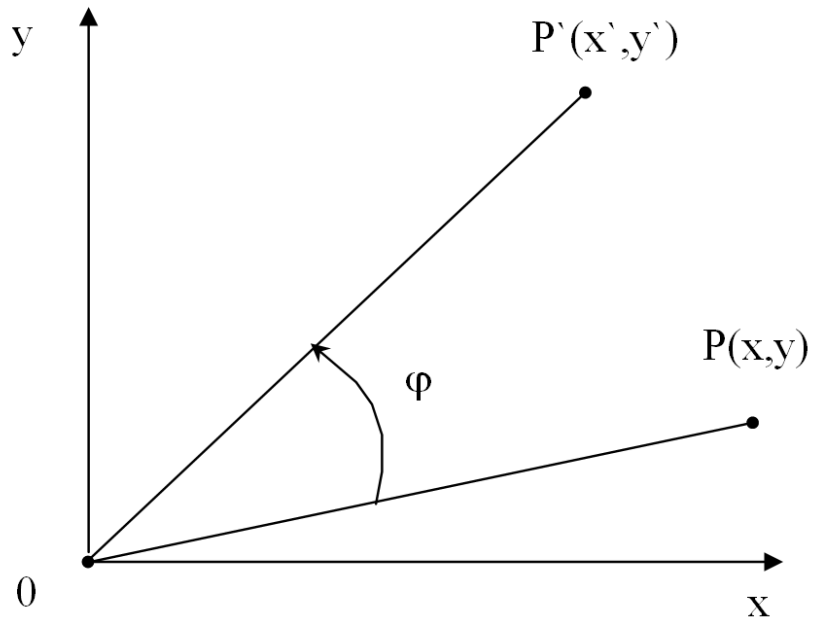


Рис. 1. Ілюстрація повороту точки P на кут φ

"накладання" – збігання координат точок первинного зображення у поверненому;

поява ділянок на площині зображення, куди не потрапить жодна точка (так-звані "дірки").

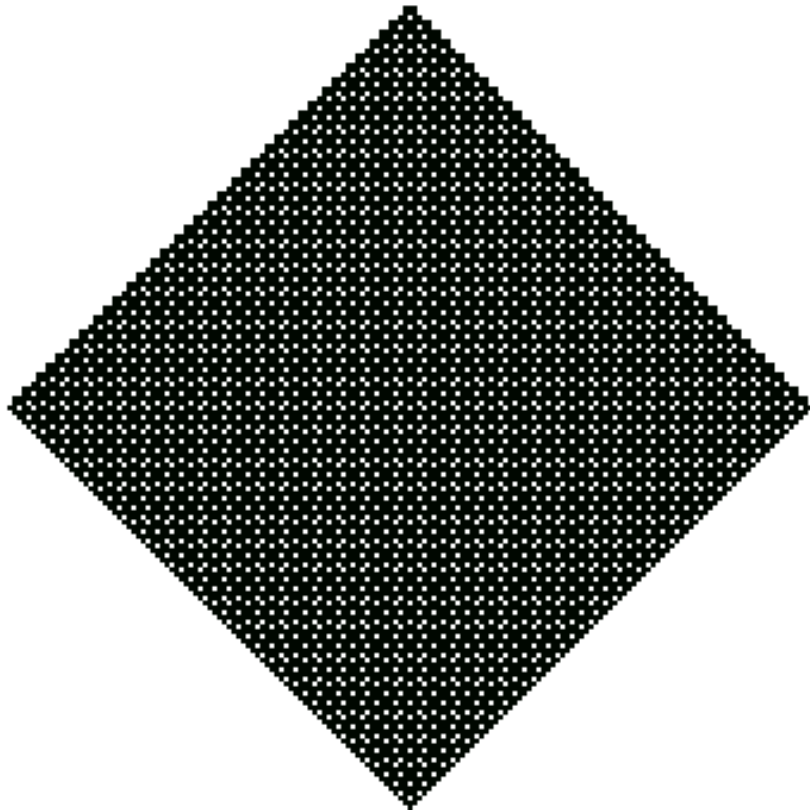


Рис. 2. Приклад повороту зображення розміром 100×100 точок на кут 45°

Наприклад, повернемо абсолютно чорне зображення розміром 100×100 точок на кут, що дорівнює 45° відносно початку координат. Циклічно виконуються співвідно-

шення (1) для всіх точок зображення. Початкове значення координат нижнього лівого кута $x=0$, $y=99$, а нижнього лівого $x=0$, $y=0$. Вектор, сформований горизонтальними приростами для цих координат матиме 100 точок. При повертанні координати нижнього лівого кута не змінюються, а правого стануть $x=70$, $y=70$. Так як кут повороту 45° , то при формуванні вектора між цими координатами, крокові прирости будуть діагональними і пряма міститиме лише 71 точку. Тобто 29 точок будуть невидимими внаслідок накладань. Відбувається спотворення зображення (рис. 2.).

Спотворення зображення виявляються візуально. Алгоритм пошуку точок, що будуть накладатись у поверненому зображенні, полягатиме у наступному:

ініціалізується зображення (визначаються його розміри, з розмірів впливає загальна кількість точок зображення, тобто встановлюється для циклу кількість ітерацій повороту);

визначаються нові координати точки за співвідношеннями (1);

порівнюються координати площини зображення, що була сформована на попередніх ітераціях повертання, з координатами точки, отриманими на даній ітерації повертання. У випадку збігання координат (x, y) нової точки з координатами вже сформованого зображення фіксується накладання;

процес ітераційно повторюється, доки не будуть оброблені всі точки зображення.

При аналізі і обробці зображення координати точок піддаються перетворенням (1) у певній послідовності. Послідовність обходу растру зображення називається розгорткою. Як показали дослідження вид розгортки може істотно вплинути на ефективність роботи алгоритмів.

Розглянемо деякі найбільш розповсюджені типи розгортки. Кожну з розгортки, що будемо розглядати, треба охарактеризувати щодо її ефективності. Такою характеристикою буде величина "окольного індексу". Цей індекс є інтегральною характеристикою розгортки і обраховується наступним чином. Візьмемо вісім елементів (рис. 3) двовимірного масиву координат, що оточують елемент G .

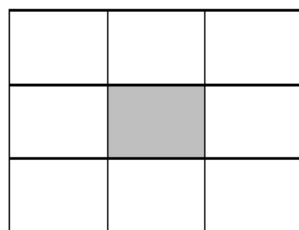


Рис. 3. Окіл елементу G

Після розташування масиву в одновимірну послідовність (так, як він звичайно зберігається у пам'яті) знайдемо кількість n_G цих елементів, що утворюють одновимірний ланцюжок без розривів, який містить і координати точки G . Очевидно,

що $0 \leq n_G \leq 8$. Величина $J_m = \frac{1}{N} \sum_{G=0}^{N-1} n_G$, де N – число елементів масиву, яке

називається "окольным індексом" розгортки, що характеризує середню кількість сусідніх елементів, що зберігаються даною розгорткою.

Розповсюдженими типами розгорток є такі.

1. “Телевізійна” розгортка (рис. 4.). Цей спосіб застосовується на практиці для впорядкування елементів двовимірного зображення.

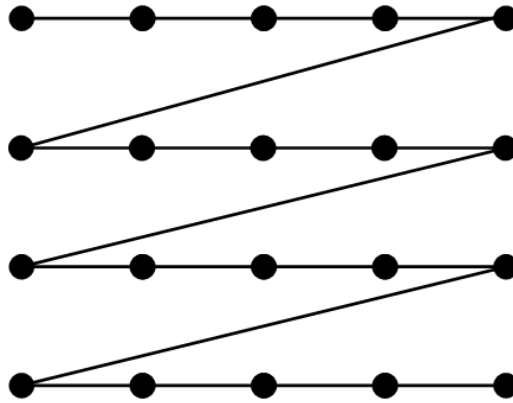


Рис. 4. "Телевізійна" розгортка

Властивості цієї розгортки порівняно з іншими характеризуються як найгірші. Вираз для окольного індексу має вигляд $J_m = 2(1 - 2^{-m})$, $J_\infty = 2$. (J_∞ – є окольний індекс при зростанні до ∞ числа точок). Тобто розгортка зберігає у середньому менше двох елементів, що будуть сусідніми з даним і обидва будуть належати одному рядку. Основна перевага цієї розгортки – простота реалізації адресації елементів масиву зображення.

2. Неперервна “телевізійна” розгортка (рис. 5).

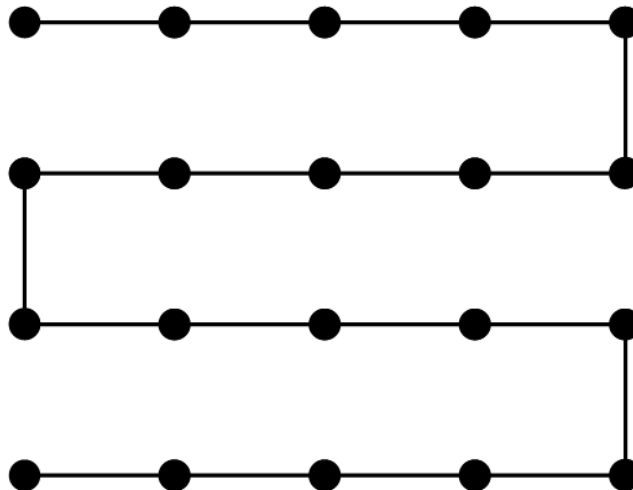


Рис. 5. Неперервна “телевізійна” розгортка

Така розгортка має характеристики: $J_m = 2(1 + 2^{2-m} - 5 \cdot 2^{-2m})$, $J_\infty = 2$.

Незначне зростання окольного індексу урівноважується втратами на ускладнення адресації елементів впорядкованого масиву. Інші властивості залишаються такими ж, що й в “телевізійної” розгортки.

3. Спіральна розгортка (рис. 6). Значення окольного індексу дорівнює: $J_m = 2(1 + 2^{1-m} + 2^{-2m})$, $J_\infty = 2$.

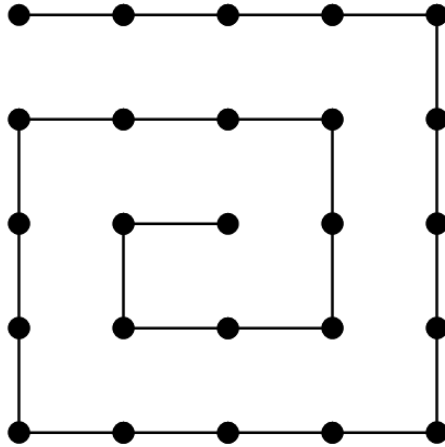


Рис. 6. Спіральна розгортка

Перевагою такої розгортки в ряді випадків є те, що початковий обхід охоплює центральну, частіше найбільш інформативну частину, зображення. В той же час застосування її викликає сильне ускладнення адресації елементів.

4. Z-розгортка (рис. 7). Окольний індекс дорівнює: $J_m = 3,5$.

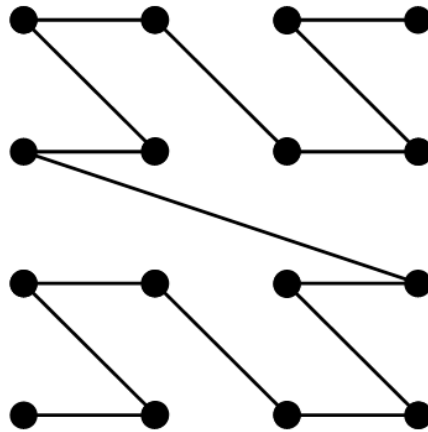


Рис. 7. Z-розгортка

Відповідність між номерами елементів масиву і його декартовими координатами в елементарній комірці задається виразами:

$$i = \sum_{j=1}^p x^j \cdot 2^{p-j}; \quad x_j = i[j] \quad (2)$$

де i – номер елемента;

$i[j]$ – j -й двійковий розряд цього номера;

$x = (x^1, \dots, x^p)$ – декартові координати елемента, $x^j, j=1 \dots p$.

Це найпростіший закон нумерації елементів.

Основною перевагою є простота приведених виразів.

5. П-розгортка (рис. 8). Окольний індекс дорівнює $J_m = 1/3 (11-2^{3-2m})$, $J_\infty = 3,6$. Перевагою такої розгортки є її квазінеперервність в межах елементарної

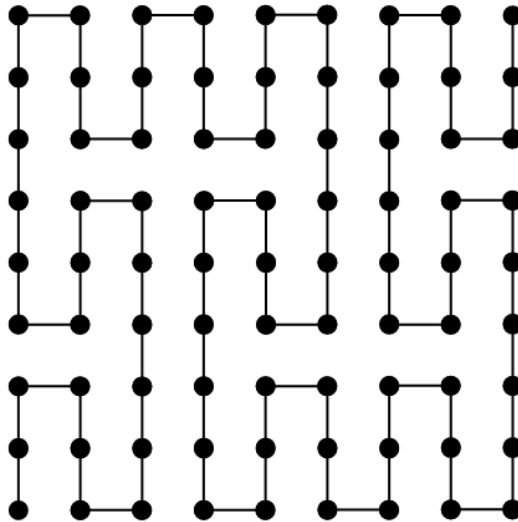


Рис. 10. Розгортка Пеано

Процес повертання можна умовно поділити на два етапи: визначення координат нового зображення (обробка за формулами (1) первинного зображення) і перетворення координат у цілі значення (зумовлено дискретністю координатного простору).

Для зберігання зображення відводиться область пам'яті, в яку заносяться координати кожної точки. Для зберігання кольору використовується двовимірний масив з комірками відповідними до координат точок. На початку роботи програми ці масиви ініціалізуються (заповнюються початковими значеннями).

Початковим етапом роботи програми є визначення коефіцієнтів повороту, тобто \sin і \cos заданого кута повертання. Ці тригонометричні функції обчислюються один раз, потім значення їх береться зі змінних, що приводить до оптимізації обчислень. Циклічно розраховуються нові координати і їх значення заносяться у масив даних, що створюється у пам'яті. Повернене зображення відображається на дисплеї на другій стадії роботи програми, де відбувається округлення дійсних значень і запис їх до відповідних комірок відеопам'яті.

Для моделювання повертання зображень на різні кути за годинниковою стрілкою розроблено програмний засіб, який діє за такими принципами. З клавіатури зчитуються дані. При натисненні на "+" – кут повороту збільшується на 1° і "-" – відповідно зменшується.

Для демонстрації накладань точок при моделюванні повороту зображення показується у збільшеному масштабі і накладання відмічаються кольором, який відсутній у палітрі кольорів зображення. Збільшення зображення виконується послідовним додаванням деякого приросту Δ до обох координат кожної точки. Замість точки виводиться коло з центром у отриманих координатах.

Накладення виявляються скануванням того місця зображення, в яке буде виводитись поточна точка. Аналізується колір, якщо він не відрізняється від фонового, то точка малюється, навпаки фіксується накладення і точка малюється відповідним кольором. Розроблений засіб дозволяє наочно продемонструвати виникаючі спотворення у зображенні, виявити накладання та "дірки" (місця куди не потрапить жодна точка) у зображеннях. Наприклад, при деяких кутах, хоча накладення точок і не

відбувається, але у зображенні будуть присутні “дірки” які можна виявити тільки візуально.

Для збору статистичних даних розроблено програмний засіб, що моделює процес повертання зображення класичним методом і підраховує кількість виникаючих накладань. Кількість накладань точок фіксується за допомогою лічильника та функції сканування відеопам'яті. При встановленні кожної точки у нову позицію її дійсні координати приводять до цілого вигляду за допомогою функції Round. Отримані координати параметрично передаються функції GetPixel, яка сканує вказане місце відеопам'яті, шляхом співставлення кольорів. Результат повертається у вигляді інтенсивності кольору комірки з заданими координатами. Порівнюючи отриманий колір з фоновим можна зробити висновок про накладання точки. Якщо отриманий колір не співпадає з фоновим – фіксується накладання і відповідно лічильник збільшує свій стан на одиницю.

Після закінчення виводу зображення отримана кількість накладань ділиться на площу зображення і множиться на 100 %. Це робиться тому, що для аналізу береться узагальнений результат – процентне співвідношення накладань до розмірів зображення, так як дослідження проводяться для зображень різних розмірів. Отримане співвідношення записується до файлу збору статистичних даних.

Перераховані вище дії виконуються аналогічно і для іншого кута повертання. При досягненні кута 45° розміри зображення збільшують на одиницю по обох координатах. Моделювання закінчується по досягненні зображенням розмірів 100×100 точок.

Моделювання процесу повертання проводилось для зображень розмірами від 4×4 до 100×100 точок. Кут повороту змінювався від 0° до 45° . При кутах більше 45° та 90° спостерігається симетрія зображення, тобто зображення повернене на кут 46° відповідає зображенню з кутом повертання 44° і, відповідно, 91° відповідає 1° .

Результати, отримані при моделюванні, показані у вигляді графічних залежностей (рис. 11–13).

Для зображень невеликих розмірів характерна досить висока варіація кількості накладань точок. Так, наприклад (рис. 11), спостерігається максимум при 28° і мінімум при 37° , цілком же панує тенденція до збільшення кількості накладань з ростом кута повертання.

Зі збільшенням розмірів зображення (починаючи з зображення розмірами 33×33 точки) спостерігається рівномірне зростання відсотка накладених точок з максимумом при куті $\varphi = 45^{\circ}$, який лежить у межах 17-18 %. Так, наприклад (рис. 12), для зображення розмірами 100×100 точок максимум при повертанні на кут 45° буде дорівнювати 17,4 %.

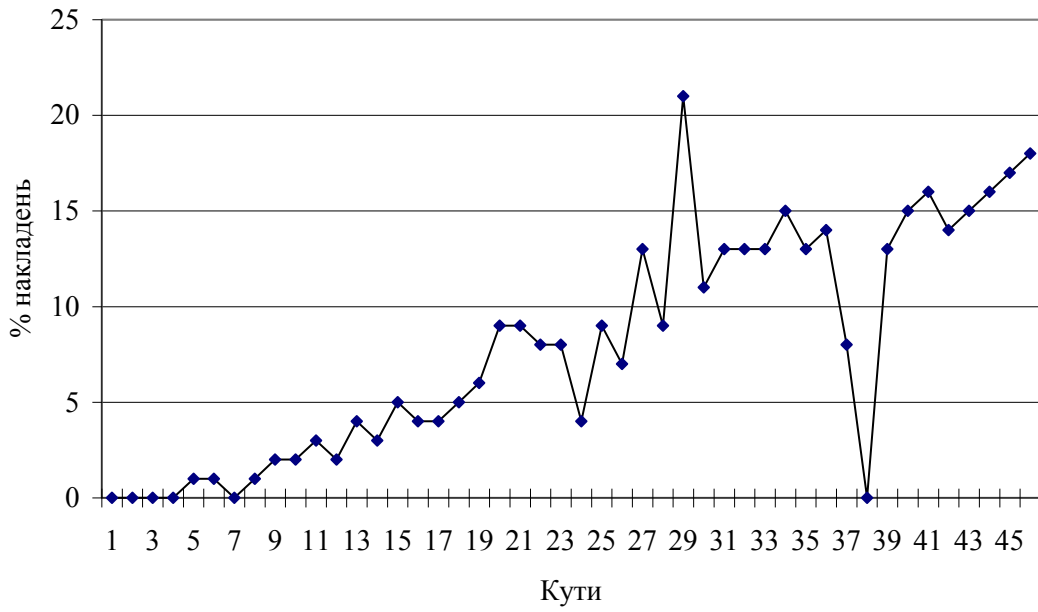


Рис 11. Залежність відсотка накладань точок від кута поворотання для зображення розміром 10×10 точок

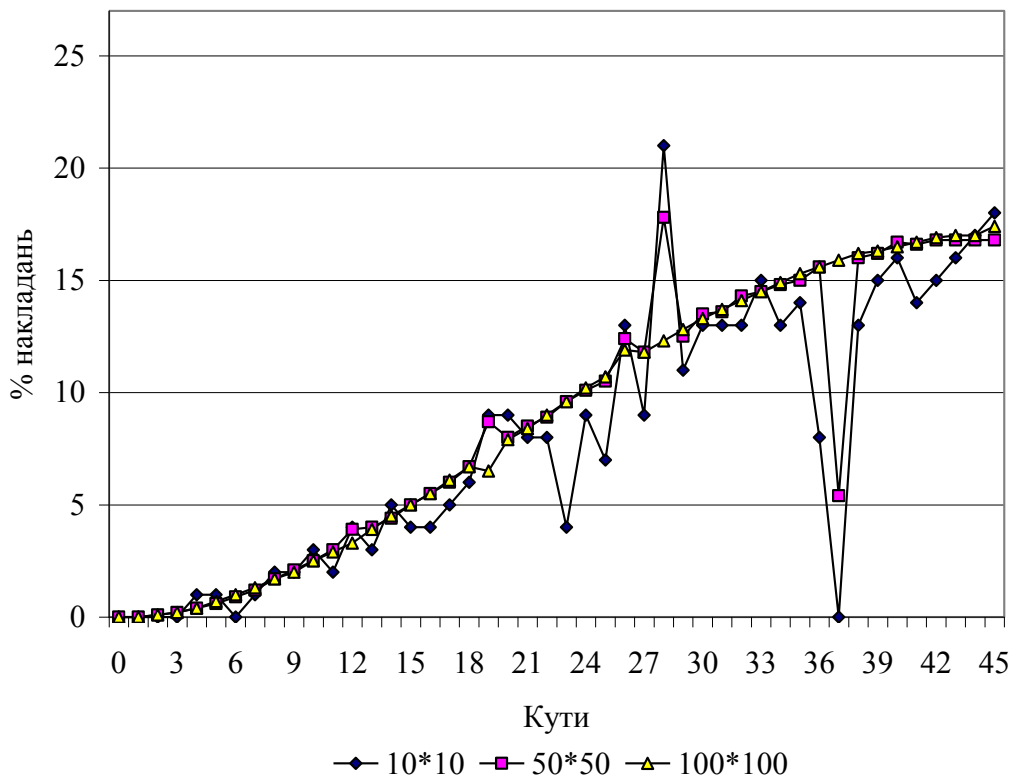


Рис. 12. Залежність відсотка накладань точок від кута поворотання для зображення розмірами 100×100 точок

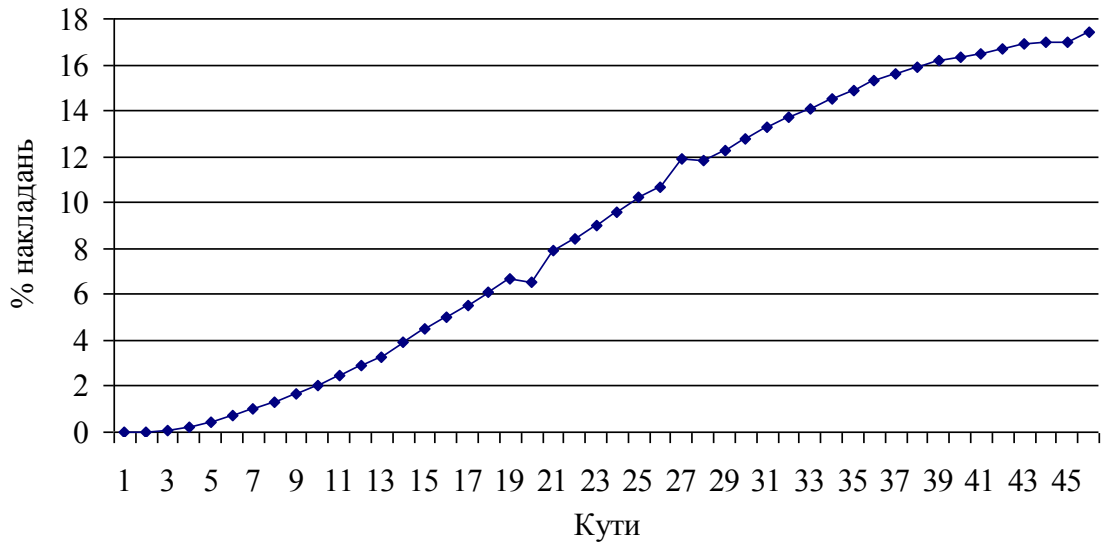


Рис. 13. Співставлення накладень точок для зображень різних розмірів

Встановлено, що для підвищення достовірності оцінки якості розміри початкового зображення повинні бути від 16×16 точок і вище. Таку тенденцію ми спостерігаємо при дослідженні залежності кутів повертання від розмірів зображення. Як видно з рис. 13 при збільшенні розмірів зображень хоча й спостерігаються різкі зміни, але залежність їх набуває більш гладкої форми і процентне співвідношення накладень точок для зображень 50×50 і 100×100 точок майже однакове.

Для кожного кута повертання можна провести регресійний аналіз. Це дозволить вивести рівняння регресії, які можуть застосовуватись при прогнозуванні кількості спотворень у зображенні, знаючи лише його розміри для кожного кута.

Наприклад, на рис. 14 наведена регресійна модель, що характеризує кількість виникаючих накладень при куті повертання 45° для зображень з розмірами від 4×4 до 100×100 точок.

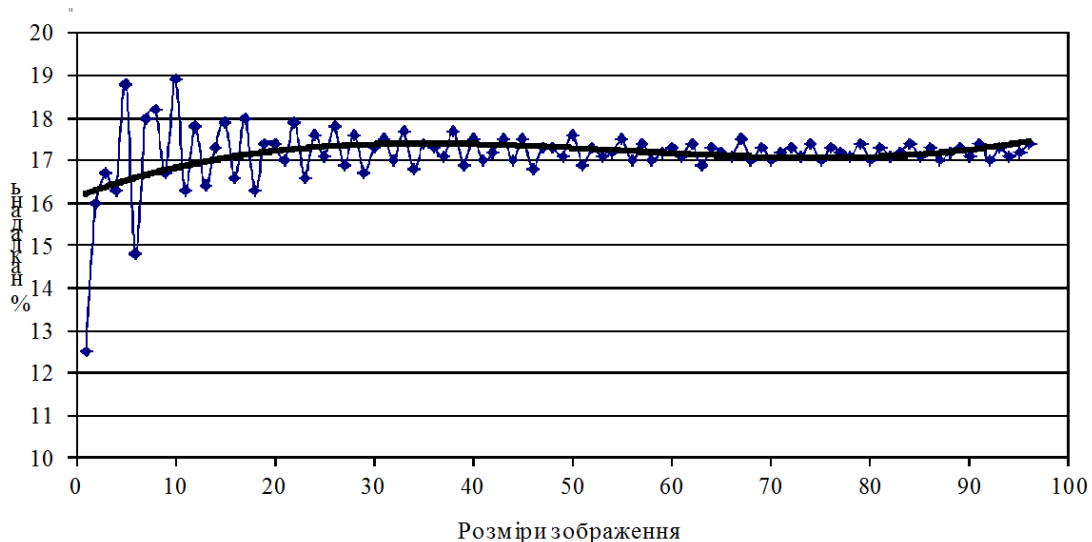


Рис. 14. Регресійна модель для кута повертання 45°

Рівняння регресії виглядатиме так:

$$y = 0,000011x^3 - 0,001803x^2 + 0,086137x + 16,136131. \quad (3)$$

Регресійне рівняння (3) представлене у вигляді поліноміальної залежності третьої степені, що апроксимує дані з індексом детермінації $R^2 = 0,132494$. Індекс детермінації показує на скільки відсотків лінія регресії пояснює дисперсію. Значення індексу детермінації свідчить про середній зв'язок ($R^2 \in 0-0,09$ – слабкий зв'язок; $R^2 \in 0,09-0,49$ – середній зв'язок; $R^2 \in 0,49-1$ – тісний зв'язок) між лінією регресії та отриманими даними. Кращі результати для прогнозування можна отримати збільшуючи степінь апроксимуючого полінома, але це веде до складності при обчисленнях.

Для того, щоб вивести зображення на екран, треба дійсні координати привести до цілих значень. Це відбувається за допомогою операції округлення результату. Цілочисельні значення координат ми одержуємо на другому етапі роботи програми при виводі повернутого зображення на екран.

У результаті округлення маємо точки, координати яких будуть дублюватись. Значення дійсних координат показують, що хоча точки й знаходяться на однакових відстанях одна від одної, але в результаті дискретності координатного простору екрана при округленні накладаються. Отже, похибку округлення можна назвати головною причиною виникнення спотворень зображення при повертанні, оскільки похибки, що накопичуються при обчисленнях тригонометричних функцій *Sin* та *Cos* впливають на результат у 6–7 розрядах десяткового дробу, а округлення відбувається за першим розрядом.

Одним з "чистих" аналітичних підходів до модифікації процесу повертання може бути метод, що базується на аналізі відстані між сусідніми точками у зображенні. Запропонований аналітичний метод потребує збереження у пам'яті масивів координат для їх подальшого аналізу. Алгоритмічно цей метод досить складний у реалізації і потребує значних обчислювальних ресурсів.

Найбільш прийнятний метод удосконалення процесу повертання з точки зору програмних і апаратних ресурсів полягає у аналізі дробової частини координати точки. Якщо вона знаходиться на проміжку від 0,3 до 0,5 або 0,5–0,7, то, як правило, округлення відкидає можливість того, що точка буде намальована з більшою чи меншою координатою, хоча майже 30% її може там знаходитись. При виконанні процесу повертання точки зі "спірними" координатами подвоюються, тобто якщо дробова частина знаходиться на інтервалі від $[0,3-0,5)$ – координата точки округлюється у більший бік і навпаки, коли точка знаходиться на інтервалі $[0,5-0,7]$, координата точки округлюється в менший бік. Фактично відбувається подвоєння точок, що в результаті повертання мають "спірні" координати. Так як відбувається подвоєння, то точки можуть просто накладатись. Для усунення цього потрібно враховувати параметри точки, що подвоюється, і при записі її проводити усереднення параметрів, які вона має, з параметрами точки того місця, куди записується. Даний метод не потребує великих обчислювальних витрат, він легко реалізується та дає добрі результати.

Висновки

1. У зображень, що повертаються у дискретному координатному просторі, при застосуванні синусно-косинусних перетворень виникають явища накладання точок одна на одну і наявність координат, куди не потрапляє жодна точка зображення. Постає задача усунення цих недоліків.

2. Розробка програмного забезпечення для моделювання процесу повертання зображення класичним методом дозволила отримати статистичні дані, на основі яких побудовано графічні залежності та проаналізовано причини виникнення негативних явищ при перетвореннях. Основною причиною спотворення зображень можна назвати похибку округлення дійсних координат, що зумовлена дискретністю координатного простору екрана.

3. Проведені дослідження дали змогу виявити основні властивості класичного методу повертання зображень. Було встановлено графічну залежність кількості накладань від кутів повороту. Дослідження виявили, що зі збільшенням розмірів зображення спостерігається рівномірне зростання відсотка накладених точок з максимумом при куті $\varphi=45^{\circ}$, який лежить у межах 17-18 % для зображень різних розмірів.

4. Для усунення або зменшення впливу ефекту спотворення зображення при його повертанні можуть бути використані методи, основані на певній спеціалізації, використанні апаратних засобів та попутної обробки зображень.

5. Найбільш перспективним методом повертання растрових зображень можна вважати метод, оснований на використанні лінійної інтерполяції у поєднанні з "гумовим" масштабним перетворенням. При цьому інформативна складова зображень взагалі не втрачається. Зображення попиксельно "перекладаються" за новими координатами.