

УДК 681.5:004.35

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).182-193](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).182-193)**Є.В. Мелешко**, доц., канд. техн. наук, **Д.С. Бакін***Центральнотраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна**e-mail: elismeleshko@gmail.com, apacherichard913@gmail.com*

Метод секторної растеризації для зображення на відеопристрої з механічною розгорткою

Метою цієї роботи є створення методу секторальної растеризації зображень на відеопристроях з механічною розгорткою, що можна використовувати в рекламних цілях. Підготовка зображення для показу на апараті з механічною секторною розгорткою потребує створення програмного забезпечення для передачі класичного прямокутного растру у секторний растр. Під час реалізації програмного забезпечення для вбудованої обчислювальної системи механічної розгортки зображення в рекламних цілях, було поставлено задачу відтворення растрового зображення за допомогою концентрично розташованих кіл, які поділені на сектори. Неоднозначність переходу від квадратного растру до секторного полягає в змінній площі секторів по мірі віддалення їх від центру зображення. Відповідно до цього факту, біля центральної зони на кожен з пікселів припадає декілька секторів, а до периферії зображення на один сектор припадає декілька пікселів. Підвищити роздільну здатність секторного зображення не є можливим з причини апаратних обмежень, тому було розроблено новий метод секторної растеризації для зображення на відеопристрої з механічною розгорткою. Розроблений метод комбінує алгоритми, які дозволяють перетворити растрове зображення у секторний растр з використанням лінійної інтерполяції в залежності від відстані сектора від центру зображення. Також приділено увагу оцінці часу наступного повного оберту під час запуску механічної системи розгортки, що дозволило скоротити час отримання стабільного зображення з моменту увімкнення пристрою. Отже, в результаті проведеного дослідження розроблено метод секторної растеризації зображення, а також побудовано алгоритми, які дозволяють перетворити растрове зображення у секторний растр. За розробленими алгоритмами було створено програмний продукт для вбудованої системи відтворення зображень та програмний продукт для передачі по зв'язку Wi-Fi відео в реальному часі з перетворенням прямокутного растру у секторний растр. За рахунок комбінування алгоритмів перетворення квадратного растру у секторний було підвищено якість відтворення зображення на відеопристрої з механічною розгорткою.

растеризація зображень, секторна розгортка, механічна розгортка, відеопристрій

Є.В. Мелешко, доц., канд. техн. наук, **Д.С. Бакін***Центральнотраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна*

Метод секторной растеризации для изображения на видеоустройстве с механической разверткой

Целью этой работы является создание метода секторальной растеризации изображений на видеоустройствах с механической разверткой, что можно использовать в рекламных целях. Подготовка изображения для показа на аппарате с механической секторной разверткой требует создания программного обеспечения для передачи классического прямоугольного растра в секторный растр. При реализации программного обеспечения для встроенной вычислительной системы механической развертки изображения в рекламных целях, была поставлена задача воспроизведения растрового изображения с помощью концентрически расположенных кругов, которые разделены на секторы. Неоднозначность перехода от квадратного растра к секторному заключается в переменной площади секторов по мере удаления их от центра изображения. Согласно этому факту, возле центральной зоны на каждый из пикселей приходится несколько секторов, а к периферии изображения на один сектор приходится несколько пикселей. Повысить разрешение секторного изображения не представляется возможным по причине аппаратных ограничений, поэтому был разработан новый метод секторной растеризации для изображения на видеоустройстве с механической разверткой. Разработанный метод комбинирует алгоритмы, которые позволяют превратить растровое изображение в секторный растр с использованием линейной интерполяции в зависимости от расстояния сектора от центра изображения. Также уделено внимание оценке времени следующего полного оборота при запуске механической

системы развертки, что позволило сократить время получения стабильного изображения с момента включения устройства. Итак, в результате проведенного исследования разработан метод секторной растеризации изображения, а также построены алгоритмы, которые позволяют превратить растровое изображение в секторный растр. По разработанным алгоритмам был создан программный продукт для встроенной системы воспроизведения изображений и программный продукт для передачи по связи Wi-Fi видео в реальном времени с преобразованием прямоугольного раstra в секторный растр. За счет комбинирования алгоритмов преобразования квадратного раstra в секторный было повышено качество воспроизведения изображения на видеоустройстве с механической разверткой.

растеризация изображений, секторная развертка, механическая развертка, видеоустройство

Постановка проблеми. З метою виведення зображення на незвичних положеннях, яке привертатиме увагу своєю ефектністю для рекламних цілей, почали використовувати пристрої з механічною розгорткою зображень, зокрема, світлодіодні лінійки, які при обертанні утворюють коло. Приклад такого пристрою показано на рис. 1. Подібне рішення не є складним, але з причини спеціалізованого використання і, як внаслідок, малосерійного виробництва, вимагає значного підвищення ціни в роздріб для окупності розробки самого пристрою та використаного в ньому програмного забезпечення.



Рисунок 1 – Пристрій механічної розгортки зображення “Голографічний 3D проектор вентилятор Holographic FAN SACA-224” [1]

Джерело: зображення пристрою з сайту <https://www.aliexpress.com/>

Зазначена ситуація призводить до економічної обґрунтованості розробки власного пристрою для мікросерійного виробництва. Проте потрібно враховувати, що пристрої побудовані на універсальних компонентах будуть поступатися спеціально розробленим та виготовленим механічним системам, і це звужує коло застосовності власних систем. З іншого боку, розроблена малосерійна система з універсальних компонентів вимагає розрахунків для розробки програмного забезпечення, яке надасть максимально можливу якість отриманого зображення, що і розглянуто в цій роботі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огляд існуючих публікацій [1, 2, 3, 4, 7, 8], показав наявність діяльності по створенню систем механічної розгортки зображень для рекламних цілей, а також для підвищення якості проведення занять у викладацькій діяльності [9]. Також задачі обробки зображення приводять до потреб в нестандартних растеризаціях зображень, що відображено в роботах [2, 6]. Проте, відмічається недостатнє приділення уваги інформаційним процесам в перетворенні зображення для відтворення його механічними системами з врахуванням можливостей сучасних обчислювальних систем. Тому потреба у підвищенні якості відтвореного зображення при використанні вже наявних пристроїв механічної розгортки встає в суперечність до можливостей наявних в існуючих джерелах математичних та інформаційних методів. Наявні методи підготовки зображення до механічної розгортки потребують вдосконалення та доповнення.

Постановка завдання. Таким чином, метою цієї роботи є створення методу секторальної растеризації зображень на відеопристроях з механічною розгорткою, що можна використовувати в рекламних цілях.

Виклад основного матеріалу. Для створення програмного забезпечення системи механічної розгортки зображення необхідно реалізувати побудову секторного растру та синхронізацію розгортки секторного зображення.

Побудова секторного растру. В результаті роботи інженерів схемотехніків та механіків, для програмування було надано пристрій на базі мікроконтролеру ESP-WROOM-32 з 64-ма RGB світлодіодами (рис. 2) для механічної розгортки зображення:



Рисунок 2 – Пристрій механічної розгортки зображення

Джерело: розроблено автором

Частота обертання лінійки світлодіодів складає 10-20 обертів за секунду. Для подачі напруги на $64 \times 3 = 192$ компонента світлодіодів використано 8 каналів регістрів зсуву з граничною частотою роботи більше 50 МГц. Завдяки тому, що мікроконтролер має тактову частоту 240 МГц, він здатен задіяти регістри зсуву на повну швидкодію. Однак, використання регістрів зсуву регламентовано протоколом, коли на передачу одного біту потрібно витримати 4-5 етапів, що знижує ефективну стабільну частоту подачі до гарантованих 10 МГц. Для заповнення лінійки по 8-ми каналам потрібно подати паралельно 24 біти інформації. Під час заповнення, всі світлодіоди відключені від живлення. Після повної передачі, живлення відновлюється і світлодіодна лінійка починає світитися заданою кольоровою комбінацією. Відповідно, під час відновлення кольорової комбінації спостерігач бачитиме темний сектор, а при подачі живлення – кольорові сектори.

Враховавши швидкодію електронних компонентів маємо граничну частоту заповнення лінійки світлодіодів інформацією: $10 \text{ МГц} / (24 \text{ біти} \times 4 \text{ етапи}) \approx 10^5 \text{ Гц}$. Але при цьому не залишається часу на індикацію світлодіодами отриманої інформації. Тому, якщо прийняти, що час світіння є в 9 разів довший, матимемо, що за 1 секунду лінійка світлодіодів має оновлюватися 10^4 разів. Якщо згадати, що частота обертання складає 20 обертів за секунду, то на один оберт маємо $10000 / 20 = 500$ секторів. На практиці частота обертання не сягає 20 Гц, тому реальною оцінкою є можливість забезпечити 512 секторів зображення на повний оберт.

З врахуванням того, що зображення будується за допомогою 64-х світлодіодів, маємо секторний растр з 64-ма концентричними колами по 512 секторів – растр містить $64 \times 512 = 32 \text{ Кбіт}$ інформації на кожен колірний канал. Повне зображення кадру містить 12 Кб інформації. Приклад подібного растру на фоні піксельного растру показано на рис. 3. Рисунок розроблено на основі прикладу з [1, с. 90].

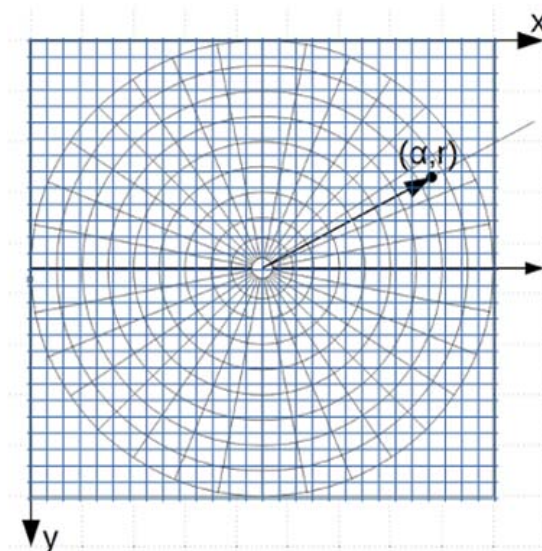


Рисунок 3 – Секторний растр на фоні квадратного растру

Джерело: розроблено автором

За документацією, мікроконтролер має 520Кб статичної оперативної пам'яті для даних, що гарантує розміщення до 20 кадрів зображення з врахуванням потреб на роботу програмного коду. Також є можливим порційне завантаження даних із зовнішніх носіїв інформації, що дозволить показувати значно більшу кількість зображень, або виводити анімаційне зображення.

Однак, для підготовки зображення для показу на апараті з механічною секторною розгорткою потрібно створити програмне забезпечення для передачі класичного прямокутного растру у секторний растр.

Для визначення координати на секторному растрі (рис. 3) потрібно знати відстань цього пікселя від центру r , та номер сектору n . При цьому кількість концентричних зон позначимо як радіус секторного растру R , та кількість секторів позначимо як N . Тепер кут до сектора можна визначити наступним чином (1):

$$\alpha = 2\pi n / N. \quad (1)$$

Після отримання кута повороту α та відстані від центру r , можна визначити Декартові координати (2) [1 с. 91; 2 с. 11]:

$$\begin{cases} x = x_c + r \cos(\alpha) \\ y = y_c + r \sin(\alpha) \end{cases}, \quad (2)$$

де $(x_c; y_c)$ – центральна точка квадратного растру.

Отримана система дає можливість співставити сектору конкретний піксель з квадратного растру. Однак, проблема полягає в тому, що переважна більшість фотографічних зображень представлені у квадратному растрі, а векторні малюнки проходять растеризацію у квадратний растр – потрібно мати операцію знаходження сектору за координатами квадратного пікселя. Ця задача обернена до задачі (2) і є більш складною.

Нехай маємо центр квадратного растру $(x_c; y_c)$ та задані координати пікселю $(x; y)$. Тоді вектор до заданого положення буде: $\{x-x_c; y-y_c\}$. Якщо відомий вектор, то за оберненими тригонометричними функціями можна визначити кут напряму вказаного вектору. Але проблемою тут є визначення чверті, до якої відноситься цей кут. Однак, завдяки частому використанню електронних обчислювальних систем для роботи з

векторами, математичні бібліотеки мають функцію $\text{atan2}(a, b)$. Ця функція містить перевірки на знаки, і повертає значення кута повороту за компонентами вектору в межах $[0; 2\pi)$. Отриманий кут вже можна використати для визначення номеру сектора. Остаточно матимемо наступні формули перетворення (3) [1, с. 92]:

$$\begin{aligned}\alpha &= \text{atan2}(x_c - x, y_c - y), \\ r &= \left[\sqrt{(x_c - x)^2 + (y_c - y)^2} \right], \\ n &= \left[N\alpha / (2\pi) \right],\end{aligned}\quad (3)$$

де квадратними дужками позначено виділення цілої частини числа.

В результаті за отриманими формулами (2) та (3) можна запропонувати наступні алгоритми перетворення растрового зображення у секторне, які представлені на рис. 4 у вигляді блок-схем.

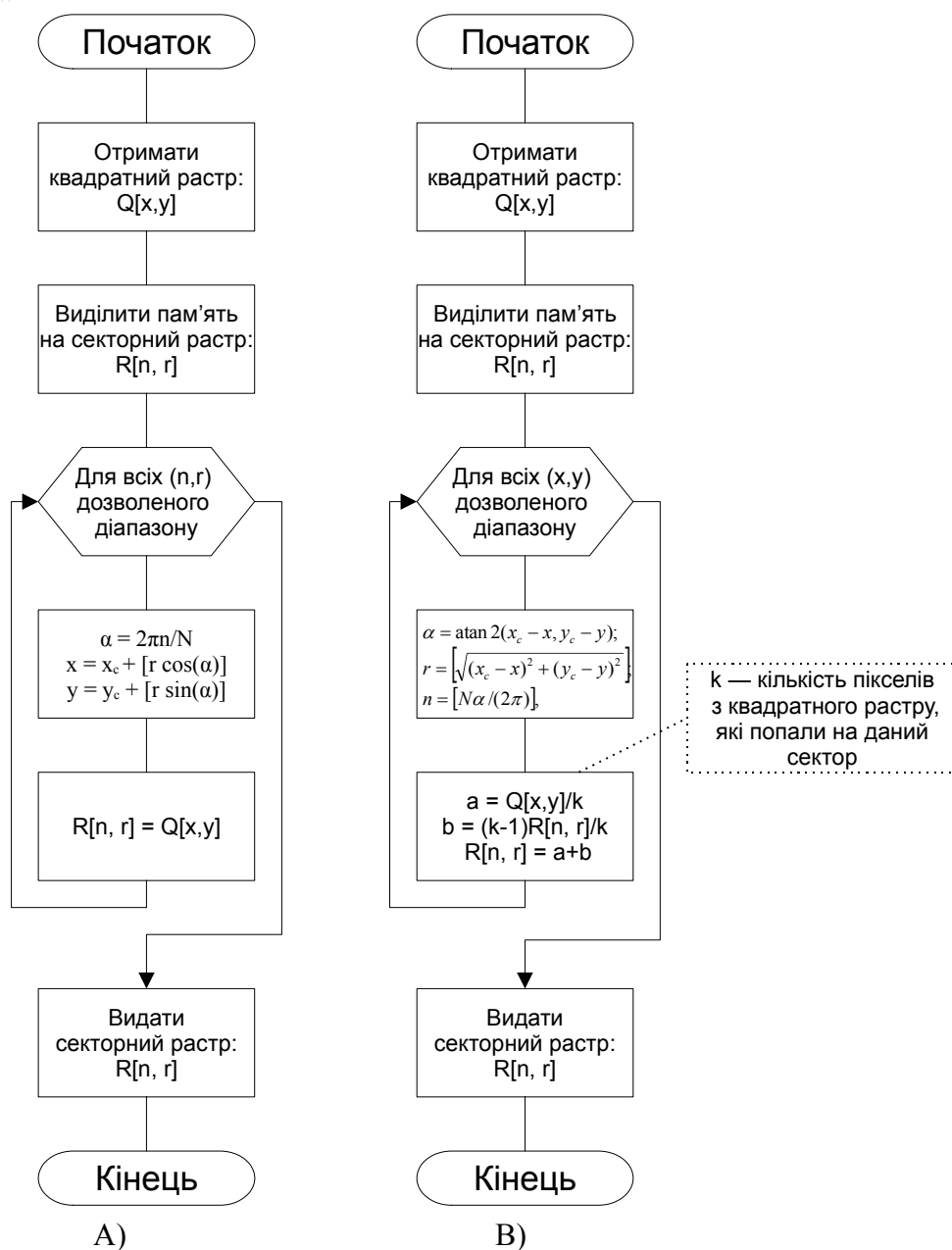
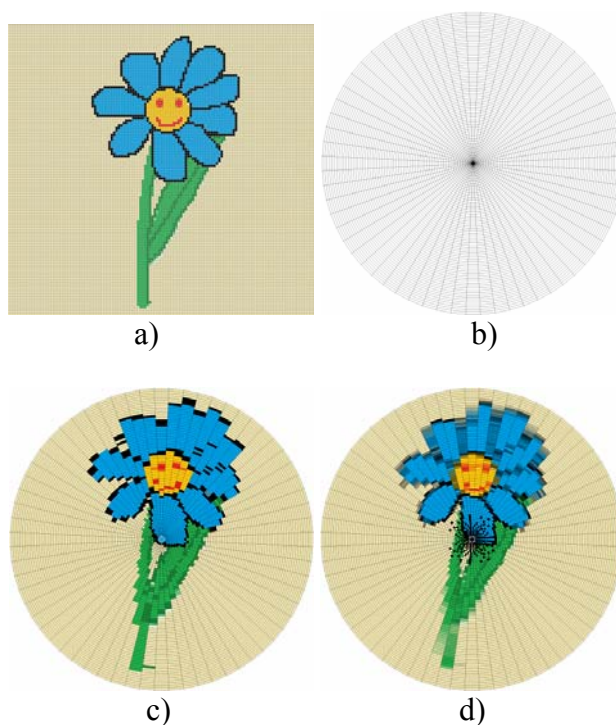


Рисунок 4 – Алгоритми А та В перетворення прямокутного растру у секторний растр
Джерело: розроблено автором

Алгоритми з рис. 4А та рис. 4В розрізняються напрямком відношення координат – для секторного растру рахується відповідний квадратний піксель, та навпаки – для квадратного пікселя рахується відповідний сектор. Щоб підкреслити різницю в результатах роботи алгоритмів, потрібно відмітити, що розмір секторів, які більш близькі до центру зображення є значно меншим, ніж віддалених секторів до краю зображення. З цієї причини біля центральної області зображення припадає декілька секторів на піксель, а з краю – на один сектор приходиться декілька пікселів.

При використанні алгоритму **А** з рис. 4А для відповідного сектору шукається єдиний піксель. В той же час, для периферійних секторів на сектор припадає більше одного пікселя, тому секторне зображення сильно спотворює або просто пропускає мілкі деталі. З позиції інтерполювання, всі пікселі, які припадають на сектор, потрібно усереднювати. Тоді мілкі деталі теж будуть впливати на формоване зображення, що значно покращить його видимі якості. Саме таким чином працює алгоритм **В**, який показано на рис. 4В.

Алгоритм **В**, який показано на рис. 4В враховує, що на сектор може припасти декілька пікселів, проте він не має можливості заповнити секторний растр біля центру – для пікселя буде розраховано координати найближчого сектору, але у випадках накладання на цей піксель декількох секторів, зафарбовано буде лише один з них. В наслідок цього на рис. 5d по центральній області частина секторів залишилася не зафарбованою і матиме чорний колір.



а) вхідне зображення 128x128; б) використаний секторний растр 64x64;

с) результат роботи алгоритму **А**; d) результат роботи алгоритму **В**.

Рисунок 5 – Приклад роботи алгоритмів секторної растеризації для зображення на відеопристрій з механічною розгорткою

Джерело: розроблено автором

Прийнято рішення комбінувати алгоритми в залежності від значення параметру r та початковому розмірі квадратного растру. Тому постає нова задача пошуку оптимального значення r .

З ілюстрації переходу від квадратного растру до секторного за алгоритмами **А** та

В, видно, що суттєві зміни в якості відтворення зображення на секторному растрі відбуваються в момент переходу до секторів, які за розміром перевищують розмір квадратного пікселя. Якщо прийняти площу пікселя квадратного растру як одиничну, то оцінити площу одного сектора можна як показано на рис. 6.

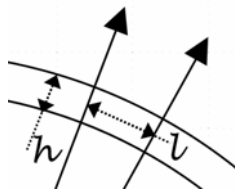


Рисунок 6 – Оцінювання площі сектора

Джерело: розроблено автором

Якщо врахувати, що площа сектора $S \approx l \cdot h$, де $h=1$, $l = r \cdot 2\pi / N$, і $S \approx r \cdot 2\pi / N$, тоді граничне значення шукається за наступним співвідношенням (4):

$$r_g \approx \frac{N}{2\pi}. \quad (4)$$

Визначення граничного радіусу (4) дає змогу вдосконалити алгоритм перетворення квадратного растру в секторний, який зображено на блок-схемі (рис. 7).

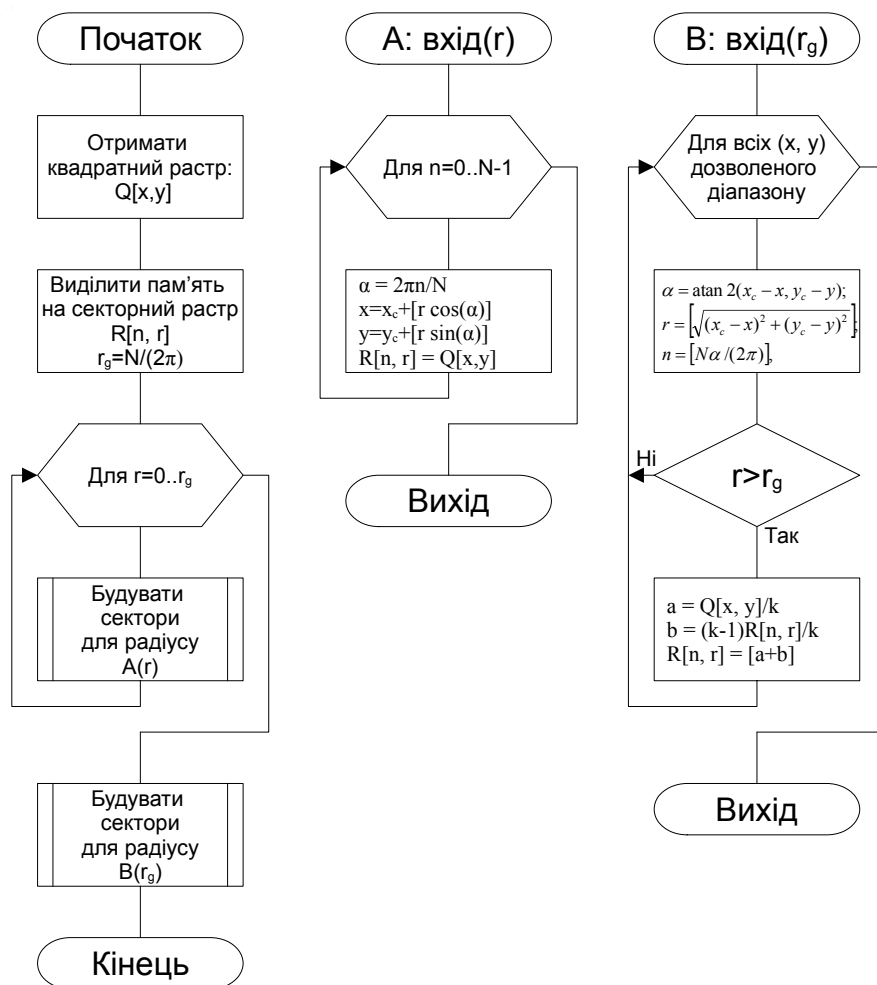


Рисунок 7 – Вдосконалений алгоритм переходу від квадратного растру до секторного

Джерело: розроблено автором

Отриманий алгоритм переходу від квадратного растру до секторного позбавлений недоліків попередньо наведених рішень, тому його використання дає змогу отримати більш якісне зображення.

Синхронізація розгортки секторного зображення

При використанні пристроїв з механічною розгорткою зображення використовуються двигуни з керованою частотою та фазою обертання [5]. Однак такі рішення значно ускладнюють керування системою механічної розгортки зображення та підвищують вартість її виготовлення, проте доступна інформація про поточне положення двигуна значно спрощує алгоритми розрахунку моментів формування зрізів розгортки. В розглянутій системі розгортки відсутня можливість визначити поточне положення двигуна, проводиться лише зняття синхроімпульсу який позначає початок розгортки кадру.

Позначимо послідовність моментів часу подачі синхроімпульсів як послідовність $T = \{t_0, t_1, t_2, \dots, t_n\}$. Під час вмикання пристрою, коли двигун не вийшов в робочий режим, $t_{i+1} - t_i \neq \text{const}$. Це призводить до неповної розгортки, спотворення та колювання утвореного зображення (рис. 8а). Цей недолік притаманний розглянутим пристроям, зокрема, зображеному на рис. 1.

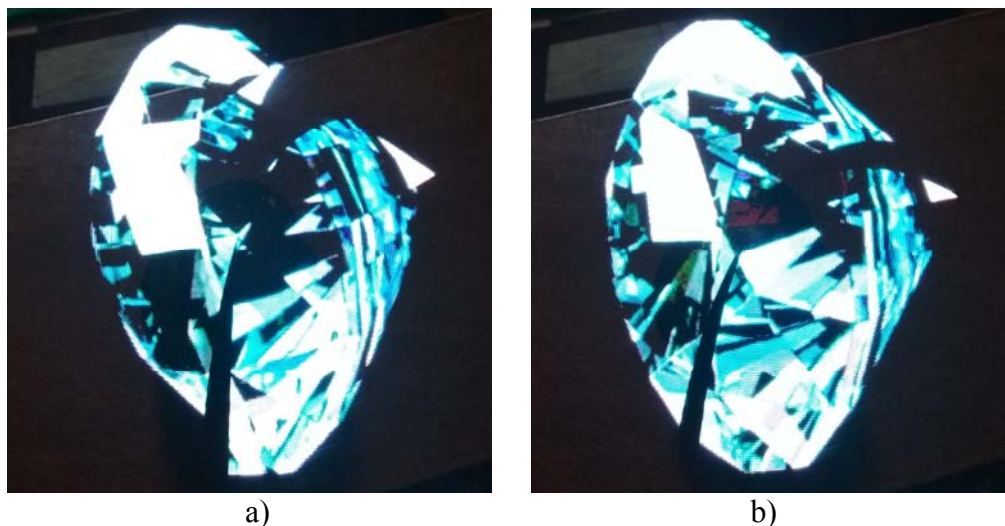


Рисунок 8 – Демонстрація порушення розгортки в результаті нерівномірного обертання осі двигуна; а) – час оберту нерівномірний; б) – використано корекцію часу здійснення оберту

Джерело: розроблено автором

Для запобігання вказаному порушенню розгортки зображення, потрібно врахувати електромеханічні властивості системи розгортки зображення для більш точного передбачення часу повного оберту. В наведеному випадку можна використати спрощену модель обертання механічної частини пристрою. Введемо наступні позначення:

E – електрорушійна сила, яка виникає в наслідок електродинамічного ефекту при обертанні ротору двигуна постійного струму.

U – прикладена до двигуна напруга.

ϵ – кутове прискорення ротору двигуна разом з системою розгортки зображення.

ω – кутова швидкість ротору двигуна разом з системою розгортки зображення.

I – момент інерції ротору двигуна разом з системою розгортки зображення.

M – момент сили на роторі двигуна разом з системою розгортки зображення.

За спрощеною моделлю двигуна постійного струму момент сили на валу можна визначити за наступною формулою: $M = k_1(U - E)$, де k_1 є характеристикою конкретного двигуна. При цьому електрорушійна сила є пропорційною кутовій швидкості обертання

ротору двигуна: $E = \omega k_0$. Якщо врахувати що $M = I \varepsilon$, а $\omega' = \varepsilon$, отримаємо наступне рівняння закону обертання механізму розгортки зображення:

$$I \omega' = k_1(U - E).$$

Звідки маємо остаточне рівняння (5):

$$I \omega'(t) + k_0 k_1 \omega(t) = k_1 U + M_n(t). \quad (5)$$

Тут $M_n(t)$ є позначенням зовнішніх завад (наприклад тертя), якими, як показав експеримент, можна знехтувати. При початковій умові $\omega(0) = \omega_0$, загальним розв'язком рівняння (5) є:

$$\omega(t) = \frac{U}{k_0} - \left(\frac{U}{k_0} - \omega_0 \right) e^{-\frac{k_0 k_1}{I} t}. \quad (6)$$

Для виразу (6) всі коефіцієнти, крім ω_0 , є технологічними особливостями виробленого пристрою і з часом мало змінюються. Тому тут і далі прийнято, що U/k_0 та $k_0 k_1/I$ відомі і визначені під час зроблених експериментів. Визначення вказаних величин для пристрою, який показано на рис. 2, було проведено за допомогою частотоміру: U/k_0 – максимально досягнута частота обертання; $k_0 k_1/I$ – розраховано з часу $t_{1/2}$ до досягнення швидкості обертання, яка вдвічі менша за номінальну при $\omega_0 = 0$ за формулою $k_0 k_1/I = \ln(2)/t_{1/2}$.

Однак отримана форма закону руху не може бути використана напряму, бо розглянуті системи механічної розгортки зображення мають лише датчик початку розгортки та таймер мікроконтролеру. В результаті програма керування має в якості доступної інформації, як зазначено перед цим, лише послідовні виміри часу $T = \{t_0, t_1, t_2, \dots, t_n\}$ з невідомими швидкостями обертання. Тому по факту моменти часу дають наступну інформацію для кута положення валу двигуна $\varphi(t_i) = \varphi_0 + 2\pi i$, де $i = 0, 1, \dots, n$. В задачу синхронізації виведення секторів зображення входить передбачення значення t_{n+1} , де більш корисним є значення проміжку часу утворення системою розгортки повного кола: $\Delta t_n = t_{n+1} - t_n$. Тоді для послідовної трійки виміряних проміжків часу початковий час можна вважати нульовим, але з невідомою початковою швидкістю ω_0 .

Для спрощення подальших записів введемо позначення: $U/k_0 = \omega_m$, $k_0 k_1/I = \alpha$. Тоді (6) прийме наступний вигляд:

$$\omega(t) = \omega_m - (\omega_m - \omega_0) e^{-\alpha t}. \quad (7)$$

Кут повороту при врахуванні початкової умови $\varphi(0) = \varphi_0$, за допомогою інтегрування по часу (7), матиме наступний вигляд:

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \omega_m t - \frac{\omega_m - \omega_0}{\alpha} (e^{-\alpha t} - 1), \quad (8)$$

де невідомими величинами є лише значення φ_0 та ω_0 .

Нехай датчик положення ротору спрацював в моменти часу t_0 та t_1 . Як показано вище, це означає, що $\varphi(t_1) - \varphi(t_0) = 2\pi$. З рівняння (8) маємо наступну систему:

$$\begin{cases} \varphi(t_0) = \varphi_0 + \omega_m t_0 - \frac{\omega_m - \omega_0}{\alpha} (e^{-\alpha t_0} - 1), \\ \varphi(t_0) + 2\pi = \varphi_0 + \omega_m t_1 - \frac{\omega_m - \omega_0}{\alpha} (e^{-\alpha t_1} - 1) \end{cases}$$

Віднімання від нижнього рівняння верхнього з системи дозволяє отримати наступний вираз:

$$2\pi = \omega_m \Delta t_1 - \frac{\omega_m - \omega_0}{\alpha} e^{-\alpha_0} (e^{-\alpha \Delta t_1} - 1),$$

$$\frac{\omega_m - \omega_0}{\alpha} e^{-\alpha_0} = \frac{\omega_m \Delta t_1 - 2\pi}{e^{-\alpha \Delta t_1} - 1}. \quad (9)$$

Аналогічні дії для моментів часу t_1 та t_2 дають вираз (10):

$$2\pi = \omega_m \Delta t_2 - \left[\frac{\omega_m - \omega_0}{\alpha} e^{-\alpha_0} \right] e^{-\alpha \Delta t_1} (e^{-\alpha \Delta t_2} - 1), \quad (10)$$

де частина позначена квадратними дужками визначається з відомих величин за допомогою виразу (9). Утворене рівняння (10) відносно шуканої величини Δt_2 , є нелінійним і не має аналітичних розв'язків. Тому для застосування чисельного ітераційного методу $x_{i+1} = f(x_i)$ потрібно виразити шукану величину Δt_2 наступним чином:

$$\Delta t_2 = \frac{2\pi}{\omega_m} + \frac{\Delta t_1 - 2\pi / \omega_m}{e^{-\alpha \Delta t_1} - 1} e^{-\alpha \Delta t_1} (e^{-\alpha \Delta t_2} - 1). \quad (11)$$

Гарантією стійкості ітераційного процесу є обмеження похідної по Δt_2 правої частини рівняння (11) в межах $[-1; 1]$, оцінку якої можна отримати з виразу (12):

$$\left| \alpha \frac{\Delta t_1 - 2\pi / \omega_m}{e^{-\alpha \Delta t_1} - 1} e^{-\alpha \Delta t_1} \right| < 1. \quad (12)$$

Узгодженість критерію стійкості ітераційного пошуку значення Δt_2 проведено графічно (рис. 9), шляхом побудови графіків для пристрою зображеного на рис. 2 з врахуванням стабілізації обертання на значенні десяти обертів на секунду з виходом на п'ять обертів на секунду за дванадцять секунд.

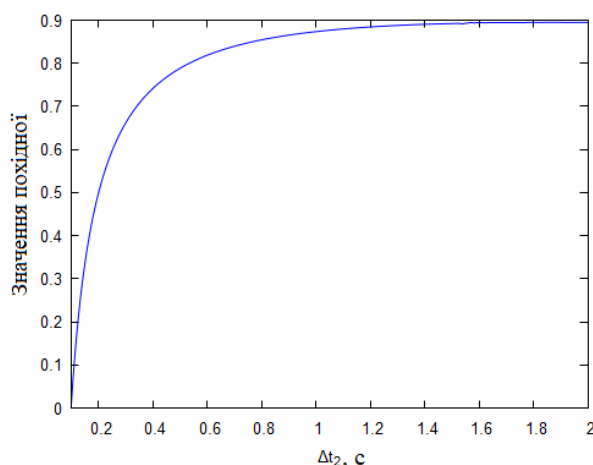


Рисунок 9 – Графічна оцінка критерію стійкості ітераційного процесу пошуку часу здійснення наступного обертів механізмом розгортки секторного зображення

Джерело: розроблено автором

Експеримент показав, що знаходження Δt_2 з початкового наближення рівним Δt_1 на практиці не перевищувало десяти ітерацій при вимозі до точності результату в трьох

значущих цифрах. В стаціонарному режимі похідна виразу (12) є майже рівна нулю, тому одна ітерація дає підтвердження того, що наступний проміжок часу малювання повного кадру буде рівним попередньому.

Висновки. В результаті проведеного дослідження розроблено метод секторної растеризації для зображення на відеопристрої з механічною розгорткою. Також було побудовано алгоритми, які дозволяють перетворити растрове зображення у секторний растр. За технічними характеристиками наявного пристрою механічної розгортки було оцінено можливості по відтворенню зображення на секторному растрі. За розробленими алгоритмами було створено програмний продукт для вбудованої системи відтворення зображення та програмний продукт для передачі по зв'язку Wi-Fi відео в реальному часі з перетворенням прямокутного растру у секторний растр. За рахунок комбінування алгоритмів перетворення квадратного растру у секторний було підвищено якість відтворення зображення на відеопристрої з механічною розгорткою.

Проведено оцінку часу наступного повного оберту під час запуску механічної системи розгортки. Це дозволило значно скоротити час отримання стабільного зображення з моменту увімкнення пристрою.

Список літератури

1. Лейтес Л.С. Очерки истории отечественного телевидения. Москва: ФГУП «ГТЦ «Останкино», 2017. 224 с.
2. Елементи векторної комп'ютерної графіки: метод. вказівки до виконання лаб. робіт для студ. денної та заочної форми навч. за спец. 123 "Комп'ютерна інженерія", 125 "Кібербезпека" / уклад. Дреєва Г.М., Дреєв О.М., Хох В.Д., Денисенко О.О. Кропивницький: ЦНТУ. 2018. 66 с. URL: http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/8851/1/Elem_vekt_komp_hraf.pdf
3. Тупикин Д.А., Киселева С.В., Агибалов И. Оптоэлектронное устройство визуализации с механической разверткой // Информационные системы и технологии. 2014. №4(84). С. 135-139. URL: http://library.oreluniver.ru/polnotekst/IzvestiyaOrelGTU/ISiT_2014_4.pdf#page=135
4. Самарин А. Лазерный микропроектор со спиральной разверткой. *Компоненты и Технологии*. 2008. №87. С. 101-104. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lazernyy-mikroproektor-so-spiralnoy-razvertkoy>
5. Васьковський Ю.М., Гайденко Ю.А., Коваленко М.А. Математичне моделювання електричних машин з постійними магнітами // Електронні текстові дані (1 файл: 18,63 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 200 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/32791>
6. Дреєв О.М., Слюсар О.В. Дослідження впливу шляху розгортки на ступінь ентропійного стиснення цифрового зображення. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту*. 2008. Вип. 21. С. 115-118. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/1395/1/21.pdf>
7. Fan blade sign display device. Patent US20030049124A1. URL: <https://patents.google.com/patent/US20030049124A1/en>
8. Rendering an image pixel in a composite display. Patent US8319703B2. URL: <https://patents.google.com/patent/US8319703B2/en>
9. Mauricio Xavier Prado Ortega, Jorge Cristopher Delgado Ramírez, Jorge Washington Valarezo Castro, Jorge Luis Armijos Carrión, Asisclo Alfonso Ávila Carvajal & Anyeline Natalia González Segarra "Application of the technical - pedagogical resource 3D holographic LED-fan display in the classroom" *Smart Learning Environments* volume 7, Article number: 32 (2020). URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40561-020-00136-5>

Referencis

1. Lejtes, L.S. (2017). Essays on the history of fatherland television. *Moscow: Ostankino*. 224 p. [in Russian].
2. Drieieva, H.M., Drieiev, O.M., Khokh, V.D. & Denysenko, O.O. (2018). Elements of vector computer graphics: methodical instructions for laboratory work for full-time and part-time students majoring in 123 "Computer Engineering", 125 "Cybersecurity". *Kropyvnytskyi: CNTU*. 66 p. Retrieve from http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/8851/1/Elem_vekt_komp_hraf.pdf [in Ukrainian].
3. Tupikin, D.A., Kiseleva, S.V. & Agibalov, I. (2014). Optoelectronic visualization device with mechanical scanning. *Information systems and technologies*, №4(84), P. 135-139. Retrieve from http://library.oreluniver.ru/polnotekst/IzvestiyaOrelGTU/ISiT_2014_4.pdf#page=135 [in Russian].

4. Samarin. A. (2008). Laser microprojector with spiral scanning. *Components and Technologies*, №87, P. 101-104. Retrieve from <https://cyberleninka.ru/article/n/lazernyy-mikroprojektor-so-spiralnoy-razvertkoy> [in Russian].
5. Vaskovskiy, Yu.M., Haidenko, Yu.A. & Kovalenko, M.A. (2017). Mathematical modeling of electric machines with permanent magnets. *Electronic text data (1 file: 18.63 MB)*. Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. 200 p. Retrieve from <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/32791> [in Ukrainian].
6. Drieiev, O.M. & Sliusar, O.V. (2008). Investigation of the influence of the scanning path on the degree of entropy compression of a digital image. *Machinery in agricultural production, industry machine building, automation*, Volume 21, P. 115-118. Retrieve from <http://dSPACE.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/1395/1/21.pdf> [in Ukrainian].
7. Fan blade sign display device. *Patent US20030049124A1*. Retrieve from <https://patents.google.com/patent/US20030049124A1/en> [in English].
8. Rendering an image pixel in a composite display. *Patent US8319703B2*. Retrieve from <https://patents.google.com/patent/US8319703B2/en> [in English].
9. Prado Ortega M.X., Delgado Ramírez J.C., Valarezo Castro J.W., Armijos Carrión J.L., Ávila Carvajal A.A., González Segarra A.N. (2020). Application of the technical – pedagogical resource 3D holographic LED-fan display in the classroom. *Smart Learning Environments*, Volume 7, Number 32, 13 p. Retrieve from <https://link.springer.com/article/10.1186/s40561-020-00136-5> [in English].

Yelizaveta Meleshko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Bakin**

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Sector Rasterization Method for Images on a Video Device With Mechanical Scanning

The goal of this work was to create a method for sectoral rasterization for images on video devices with mechanical scanning that can be used for advertising purposes.

Preparing an image for display on a machine with a mechanical sector scan requires the creation of software for transferring a classic rectangular raster to a sector raster. When implementing software for an embedded computing system of mechanical image scanning for advertising purposes, the task was to reproduce a raster image using concentrically located circles, which are divided into sectors. The ambiguity of the transition from a square to a sectorial raster lies in the variable area of the sectors as they move away from the center of the image. According to this fact, there are several sectors for each of the pixels near the central zone of the image, and several pixels for one sector to the periphery of the image. There is not possible to increase the resolution of a sector image due to hardware limitations, so a new method of sector rasterization for an image on a mechanically scanned video device was developed. The developed method combines algorithms that make it possible to transform a raster image into a sectorial raster using linear interpolation depending on the distance of the sector from the center of the image. Attention was also paid to assessing the time of the next complete revolution when starting the mechanical scanning system, which made it possible to reduce the time for obtaining a stable image from the moment the device was turned on.

So, as the result of the research, the method of sectorial image rasterization was developed, as well as the algorithms that allow converting a raster image into a sectorial image were developed. Based on the developed algorithms, the software product for an embedded image reproduction system and the software product for real-time video transmission over Wi-Fi communication with the conversion of a rectangular raster into a sector raster were created. By combining algorithms for converting a square raster to a sector one, the quality of image reproduction on a mechanically scanned video device was improved.

image rasterization, sectoral scanning, mechanical scanning, video device, microcontroller programming

Одержано (Received) 14.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 17.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020