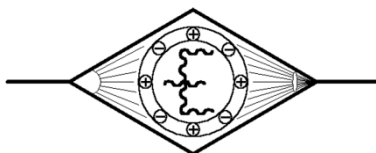


Вінницький національний технічний університет

Міністерство освіти і науки України
Академія інженерних наук України
Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова НАН України
Ужгородський національний університет
Грузинський технічний університет
Люблінський технологічний університет
Міжнародні товариства оптичної техніки SPIE, OSA



Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

Заснований у 2001 році
Виходить 2 рази на рік

№ 1 (47), 2024

Свідоцтво про реєстрацію – КВ № 15295–3867Р від 22.06.2009 р.
Ідентифікатор медіа – R30-01502 (Рішення Національної ради України з питань
телебачення та радіомовлення, № 1234 від 31.10.2023 року)

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради ВНТУ, протокол № 15 від 25 червня 2024 р.

Міжнародний науково-технічний журнал «Оптико-електронні
інформаційно-енергетичні технології» є науковим виданням, публікації в
якому визнаються при захисті дисертаційних робіт з технічних наук
(постанова Президії ВАК України №1-05/6 від 12 червня 2002 року)
(повторна реєстрація, Наказ МОН України №820 від 11 липня 2016 р)
Присвоєно категорію Б в галузі технічних наук згідно з наказом МОН № 409 від 17.03.2020
Індексується та представлений у міжнародних наукометричних базах даних,
репозиторіях і пошукових системах: EBSCOhost; Academic Search
Premier; Library, Information Science & Technology Abstracts; MEDLINE; HealthSource:
Nursing/AcademicEdition; HealthSource - Consumer Edition; Regional Business News);
Google Scholar, Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського
© Вінницький національний технічний університет, оформлення, верстка, 2024

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:
Україна, 21021, м. Вінниця,
вул. Хмельницьке шосе, 95.

Тел.: +38 (0432) 51-32-56
Факс: +38 (0432) 46-57-72
<https://oeipt.vntu.edu.ua/>
E-mail: oeipts@gmail.com

**МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ
ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ
РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР:

Павлов С. В. Вінницький національний технічний університет, Україна

ЗАСТУПНИКИ ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА:

Вуйцік В. Т. Технологічний Університет «Люблінська Політехніка», Польща

Осадчук В.С. Вінницький національний технічний університет, Україна

Ушенко О.Г. Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Азаров О. Д. Вінницький національний технічний університет	Муравський Л.І. Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України
Ангельський О.В. Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича	Никифорова Л.Є. Національний університет біоресурсів та природокористування України, Київ
Аврунін О. В. Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна	Николайчук Я.М. Тернопільський національний економічний університет, Україна
Бобицький Я.В. Національний університет "Львівська політехніка"	Оміотек З.Б. Технологічний Університет «Люблінська Політехніка», Польща
Бунь Р.А. Національний університет "Львівська політехніка"	Осадчук О.В. Вінницький національний технічний університет
Бісікало О. В. Вінницький національний технічний університет	Петрук В.Г. Вінницький національний технічний університет
Васіленко В.Б. Новий університет Лісабону, Лісабон, Португалія	Поворознюк А.І. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
Васілевський О. М. Техаський університет в Остіні, США	Романюк О.Н. Вінницький національний технічний університет
Власенко О.В. Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова	Ротштейн А.П. Донецький національний університет ім. Василя Стуса
Володарський С. Т. Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова, Київ	Русин Б.П. Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України, Львів
Габко В.В. Вінницький національний технічний університет	Салдан Й.Р. Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова
Заболотна Н. І. Вінницький національний технічний університет	Саченко А.О. Тернопільський національний економічний університет, Україна
Кветний Р.Н. Вінницький національний технічний університет	Смайлова С.С. Східно-Казахстанський технічний університет ім. Д.Серікбаєва, Усть-Каменогірськ, Республіка Казахстан
Коваленко В.С. НДІ лазерної техніки та технологій Національний технічний університет України "КПІ", Київ	Смолаж Анджей Технологічний Університет «Люблінська Політехніка», Польща
Колісник П.Ф. Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова	Сорокін В. М. Інститут фізики напівпровідників ім. В.С. Лашкарьова НАНУ, Україна
Кичак В.М. Вінницький національний технічний університет	Тітова Н.В. Національний університет "Одеська Політехніка", Одеса, Україна
Кривонос В.С. Національний авіаційний університет, Київ, Україна	Тимчик Г.С. Національний технічний університет України "КПІ", Київ
Кулаков П. І. Уманський національний університет садівництва	Тимченко Л.І. Національний транспортний університет, Київ, Україна
Кухарчук В. В. Вінницький національний технічний університет	Тужанський С.С. Вінницький національний технічний університет
Лежнюк П.Д. Вінницький національний технічний університет	Шайко-Шайковський О. Г. Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича
Лепіх Я.І. Одеський національний університет ім. Мечникова	Шевчук В.І. Український державний науково-дослідний інститут медико-соціальних проблем інвалідності, Вінниця
Лужецький В.А. Вінницький національний технічний університет	Яровий А.А. Вінницький національний технічний університет
Литвиненко В. І. Херсонський державний університет, Україна	
Мамирбаєв О.Ж. Інститут інформаційних та обчислювальних технологій КН МОН, Алмати, Республіка Казахстан	
Мартинюк Т.Б. Вінницький національний технічний університет	
Медиковський М.О. Національний університет "Львівська політехніка"	

ВІДПОВІДАЛЬНІ СЕКРЕТАРІ:

Кожем'яко А.В. Вінницький національний технічний університет, Україна

Тужанський С.С. Вінницький національний технічний університет, Україна

Костюкевич С.О. Інститут фізики напівпровідників НАНУ, Київ, Україна

ТЕХНІЧНІ СЕКРЕТАРІ:

Павлов В. С., Карась О.В.

РЕДАКТОРИ-КОРЕКТОРИ:

Прадівланий М.Г., Веремієнко С.Я.

**МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ
ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

ЗМІСТ

**ПРИНЦИПОВІ КОНЦЕПЦІЇ ТА СТРУКТУРУВАННЯ РІЗНИХ РІВНІВ ОСВІТИ З
ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

А.В. Юшко, А.Ю. Сімак Інформаційна інтелектуальна система аналізу наукової та науково-педагогічної діяльності академічного колективу.....	7
Д.І. Угрин, Ю.О. Ушенко, С.Ф. Шевчук, А.Я. Довгунь, М.Л. Ковальчук, В.В. Івашко, А.О. Карачевцев Ризик-менеджмент та маркетинг в ІТ-галузі для аналізу курсу і прогнозування товарних грошей.....	17

**МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ
ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ**

О.В. Мельник, О.Н. Романюк, О.Я. Стахов Ефективність використання гексагонального растра при побудові пікселів у пристроях відображення	28
С. В. Хрущак, О. М. Ткаченко, О. Р. Бойко, О. О. Кошмелюк Аналіз використання ймовірнісних фільтрів для інвалідації токенів автентифікації у розподілених системах.....	34
Т.Б. Мартинюк, О.Ю. Войналович Класифікаційна модель методів цифрового кодування.....	42

**СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА
РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ**

О.Н. Романюк, С.В. Павлов, О.Л. Бобко, Є.К. Завальнюк, О.О. Решетнік Аналіз великих даних у комп'ютерній графіці	50
А.А. Соколов, О.Г. Аврунін Оцінка можливостей бібліотеки ARCORE для визначення дистанції до об'єктів у кадрі	58
Р.П. Шевчук, Р.Р. Тихий Аналіз технології та інструментів для реалізації систем доповненої реальності	66
Я.Г. Скороюкова, Т.Б. Мартинюк, С.М. Марков, В.М. Кокушкін Особливості виявлення еталонного зображення на напівтоновому зображенні за методом бінарних зрізів.....	78
В.П. Кузняк, О.К. Колесницький Прогнозування побічних ефектів поліпрагмазії за допомогою графової нейронної мережі.....	88

БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

Ю.О. Ушенко, В.М. Склярчук, О.В. Дуболазов, І.В. Солтис, О.В. Олар, А.В. Мотрич, М.П. Горський, В.Г. Житарюк Поляризаційно-інтерференційний лазерний цифровий комплекс масштабованого скейлінгу у діагностиці регенерації ран.....	96
Ю.О. Ушенко, В.М. Склярчук, О.В. Дуболазов, І.В. Солтис, О.В. Олар, Д.І. Угрин, Ю.Я. Томка, Л.Й. Підкамінь, Ю.О. Пилипець Поляризаційний корелометр фазових мап лазерно-індукованих зображень надмолекулярних мереж полікристалічних плівок крові у діагностиці об'єму крововтрати.....	104
Ю.О. Ушенко, В.М. Склярчук, О.В. Дуболазов, І.В. Солтис, О.В. Олар, М.С. Гавриляк, М.П. Горський, В.Г. Житарюк Система мюллер-матричної інтерферометрії полікристалічних плівок випоту для диференціальної діагностики некротичних змін ран біологічних тканин	111
Н.І. Заболотна, В.В. Шолота Поляриметрична система мюллерово-матричної діагностики двокомпонентних біологічних структур з підтримкою прийняття рішень.....	120
А.О. Соколов, О.Г. Аврунін, Л.Г. Коваль, О.В. Кадук Оцінка показників стереоендоскопічних систем в ринології	128
О.В. Карась, С.В. Тимчик, Ю.Й. Салдан, Кимбат Моминжанова, Д.К. Мойсеев Аналіз зображень очного дна на основі машинного навчання.....	140
А.В. Щербатюк, С.Є. Тужанський Методи оптичної когерентної томографії та алгоритми фільтрації зображень для офтальмологічної діагностики.....	148
С.А. Андрікевич, С.Є. Тужанський Методи сегментації оптичних зображень очного дна...	155

УДК 004.92

О. В. МЕЛЬНИК, О. Н. РОМАНЮК, О. Я. СТАХОВ

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ГЕКСАГОНАЛЬНОГО РАСТРА ПРИ ПОБУДОВІ ПІКСЕЛІВ У ПРИСТРОЯХ ВІДОБРАЖЕННЯ

Вінницький національний технічний університет, 21021, вул. Хм. шосе, 95, м. Вінниця, Україна

Анотація. Проведено теоретичні розрахунки для одиничного елемента гексагонального растру. Проаналізовано та доведено, що гексагональна решітка дає найнижче співвідношення периметра до площі заповнення площини будь-якими рівносторонніми багатокутниками. Таким чином, базуючись на розрахунках, для гексагональної решітки ефект крайового аліазингу зменшено до мінімуму.

Ключові слова: антиаліазинг, гексагональний растр, піксель, реалістичність зображень.
Abstract. Theoretical calculations for a single element of a hexagonal raster are considered. It has been analyzed and proven that the hexagonal lattice gives the lowest ratio of perimeter to area covering the plane of any equilateral polygons. Thus, based on the calculations, the edge aliasing effect is reduced to a minimum for the hexagonal lattice.

Key words: anti-aliasing, step effect, hexagonal raster, pixel, realism of images

DOI:10.31649/1681-7893-2024-47-1-28-33

ВСТУП

З метою підвищення якості формування графічних зображень в пристроях відображення використовують гексагональний растр, який має ряд особливостей, що пов'язані з геометрією гексагона [1-5].

Мета роботи – дослідити та теоретично обґрунтувати переваги у використанні гексагонального растра, для досягнення кращого мінімального ефекту крайового аліазингу, базуючись на мінімальному співвідношенні площі до периметру одиничного елемента растру.

ЗАМОЩЕННЯ ПЛОЩИНИ РІВНОСТОРОННІМИ БАГАТОКУТНИКАМИ

Для повного, неперервного замощення чи заповнення площини без розривів і накладань, як структурний елемент, може бути застосовано лише три види рівносторонніх багатокутників [1-3], а, саме, рівносторонній трикутник, рівносторонній чотирикутник (квадрат) і рівносторонній шестикутник (гексагон) (рис.1). Також площину можна замостити (заповнити) без розривів і накладань прямокутниками будь-якої пропорції сторін [4-5].

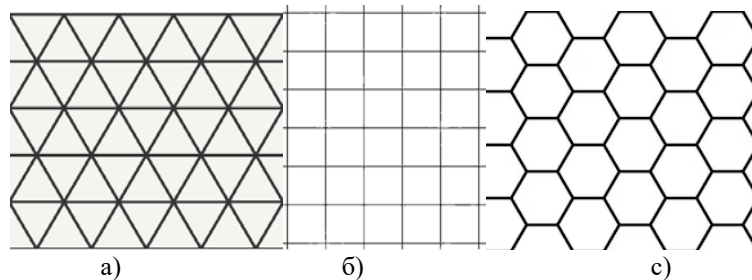


Рисунок 1 - Замощення площини багатокутниками

МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

При замошені рівностороннім трикутником одиничної площі, площа розраховується за формулою [7, 8]:

$$S = \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot a^2 \quad (1)$$

При $S=1$, $a = \sqrt{\frac{4}{\sqrt{3}}} \approx 1,5209$, а отже периметр $P=3 \cdot a=3 \cdot 1,5209=4,56$.

При замошені рівностороннім прямокутником (квадратом) одиничної площі, площа $S=1$, а периметр $P=4a=4$.


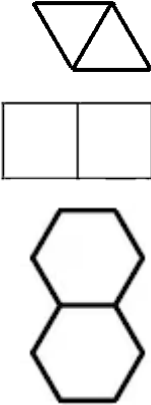
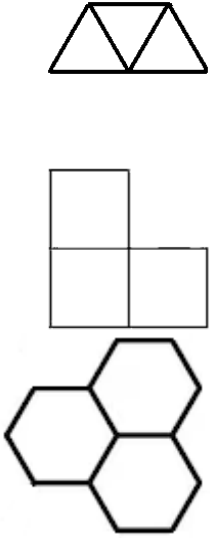
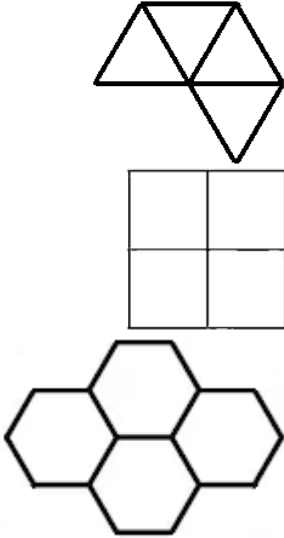
При замошені рівностороннім шестикутником (гексагоном) одиничної площі, площа розраховується за формулою:

$$S = \frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot a^2 \quad (2)$$

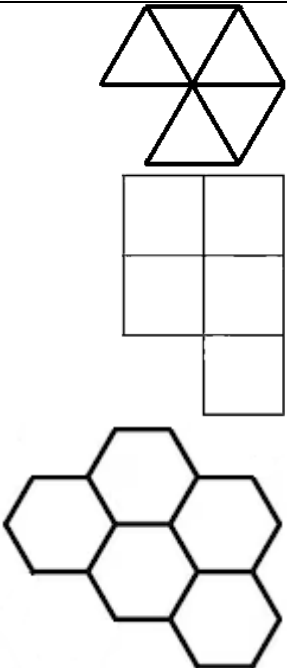
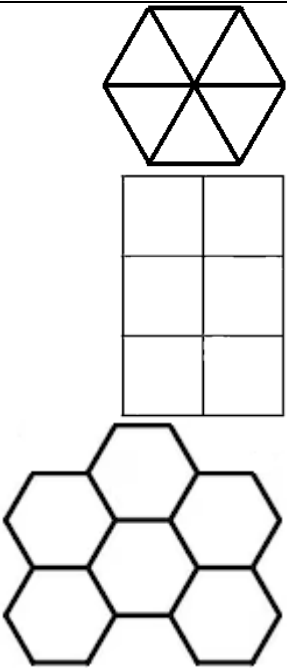
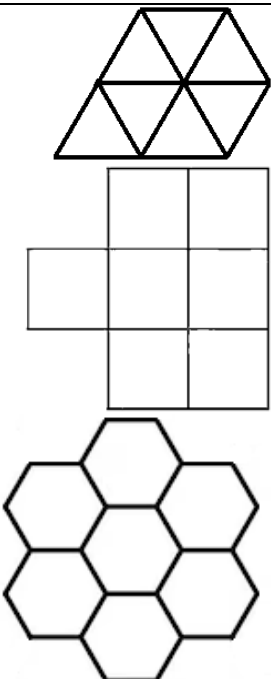
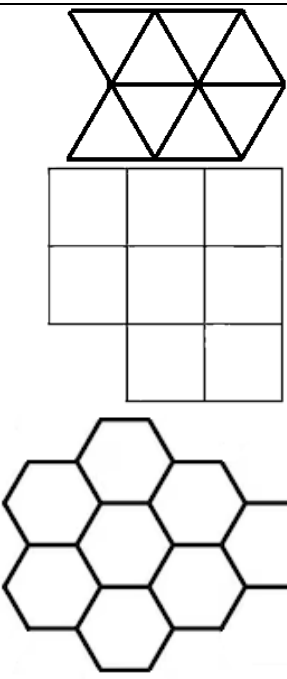
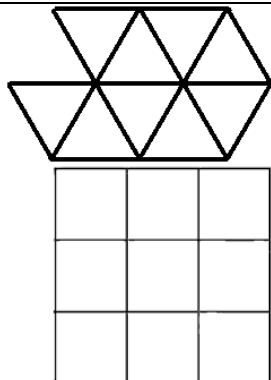
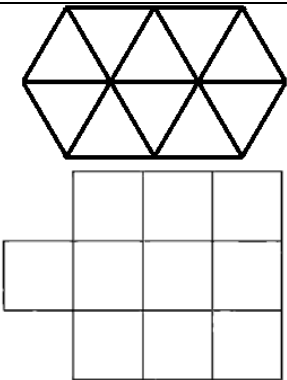
При $S=1$, $a = \sqrt{\frac{2}{3\sqrt{3}}} \approx 0,6204$, а отже периметр $P=6 \cdot a=6 \cdot 0,6204=3,72241$.

Проведені розрахунки для різної кількості багатокутників з одиничною площею (таблиця 1).

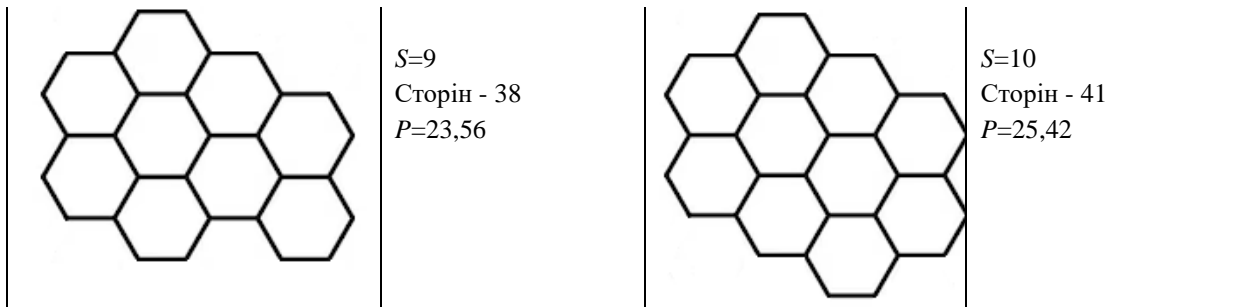
Таблиця 1

Довжина ребер багатокутників одиничної площі			
Багатокутники	Співвідношення площ і периметрів	Багатокутники	Співвідношення площ і периметрів
	$S=1$ Сторін - 3 $P=4,56$ $S=1$ Сторін - 4 $P=4$ $S=1$ Сторін - 6 $P=3,722$		$S=2$ Сторін - 5 $P=7,6$ $S=2$ Сторін - 7 $P=7$ $S=2$ Сторін - 11 $P=6,82$
	$S=3$ Сторін - 7 $P=10,64$ $S=3$ Сторін - 10 $P=10$ $S=3$ Сторін - 15 $P=9,3$		$S=4$ Сторін - 9 $P=13,68$ $S=4$ Сторін - 12 $P=12$ $S=4$ Сторін - 19 $P=11,78$

**МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ
ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ**

	<p>$S=5$ Сторін - 11 $P=16,72$</p> <p>$S=5$ Сторін - 15 $P=15$</p> <p>$S=5$ Сторін - 23 $P=14,26$</p>		<p>$S=6$ Сторін - 12 $P=18,24$</p> <p>$S=6$ Сторін - 17 $P=17$</p> <p>$S=6$ Сторін - 27 $P=16,74$</p>
	<p>$S=7$ Сторін - 14 $P=21,28$</p> <p>$S=7$ Сторін - 20 $P=20$</p> <p>$S=7$ Сторін - 30 $P=18,6$</p>		<p>$S=8$ Сторін - 16 $P=24,32$</p> <p>$S=8$ Сторін - 22 $P=22$</p> <p>$S=8$ Сторін - 34 $P=21,08$</p>
	<p>$S=9$ Сторін - 18 $P=27,36$</p> <p>$S=9$ Сторін - 24 $P=24$</p>		<p>$S=10$ Сторін - 19 $P=28,88$</p> <p>$S=10$ Сторін - 27 $P=27$</p>

МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ



Розрахунки показують, що шестикутник одиничної площі має найменше значення периметру сторін, при площі одиничного розміру, з усіх багатокутників, та, незалежно від кількості гексагональних елементів одиничної площі, які заможують площину. Така геометрична особливість гексагонів зекономить матеріали при виробництві пікселів в моніторах, датчиках, екранах, плазмових панелях. Також це підтверджує властивість рівносторонніх багатокутників з кутами n , що при $S=1$, коли $n \rightarrow \infty$ то $P \rightarrow \min$.

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ТА ДОВЖИНИ ВСІХ РЕБЕР

Визначимо кількість ребер і суму довжин ребер для багатокутників, у випадку замощення площини квадратами та замощення такої ж за розмірами площини гексагонами (рис 1. б, с). Для цього знайдемо кількість всіх ребер елементів решітки для квадрата та для гексагона, а також загальну довжину всіх ребер для квадрата та гексагона, при умові, що квадратна та гексагональна решітки мають однакову кількість елементів (рис. 2).

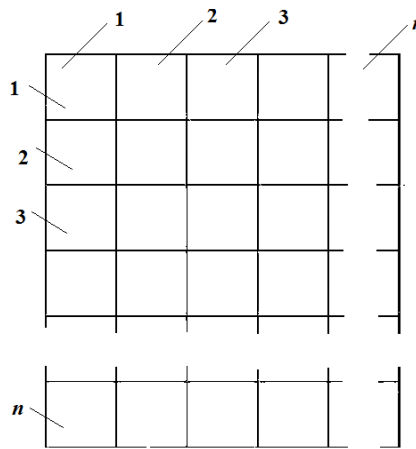


Рисунок 2 - Кількість ребер квадратної решітки

Відповідна квадратна решітка (рис.2) екрану містить n -стовпців і n -рядків, а довжина одного ребра дорівнює 1 (оскільки $S=1$), тому загальну кількість ребер та сумарне значення довжин всіх ребер у такій решітці можна виразити формулою:

$$R_{кв} = (1 \cdot n + 1) \cdot n + (1 \cdot n + 1) \cdot n = 2(n + 1) \cdot n = 2n^2 + 2n \quad (3)$$

$$R_{кв} = \underbrace{(n+1)}_{\text{довжина рядка}} \cdot \underbrace{n}_{\text{стовбець}} + \underbrace{(n+1)}_{\text{довжина стовбця}} \cdot \underbrace{n}_{\text{рядок}} = 2(n+1) \cdot n = 2n^2 + 2n$$

Для гексагональної решітки екрану (рис.3), яка теж містить n^2 кількість комірок, загальна кількість ребер та сумарне значення довжин всіх ребер у такій решітці буде:

МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

$$R_{сек} = a \cdot (2 \cdot n \cdot (n+1) + (n+1) \cdot n + (n-1)) = a \cdot (3 \cdot n^2 + 4 \cdot n - 1) = 3an^2 + 4an - a \quad (4)$$

Де a – довжина одного ребра, $a=0,6204$.

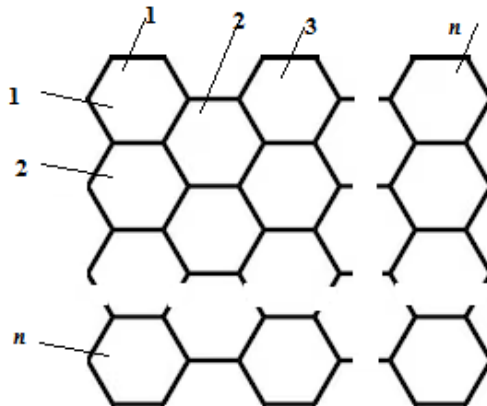


Рисунок 3 - Кількість ребер гексагональної решітки

Порівнявши формулу (3) та формулу (4) у яких біля n^2 різні коефіцієнти: $3a=1,8612 < 2$, отже слідує, що $R_{сек} < R_{кв}$ при будь яких значеннях n . Крім того, при збільшенні одиничних елементів растру різниця $R_{кв} - R_{сек}$ зростає. Це також підтверджується простою підстановкою значень (таблиця 2).

Таблиця 2

Сумарне значення довжин всіх ребер

	n				
	2	3	4	5	...
$R_{кв} = 2n^2 + 2n$	12	24	40	60	>
$R_{сек} = 3an^2 + 4an - a$	11,78	23,56	39,06	58,28	<

ВИСНОВКИ

Проаналізовано та доведено, що гексагональна решітка дає найнижче співвідношення периметра до площі заомощення площини будь якими рівносторонніми багатокутниками. На практиці це означає, що для гексагональної решітки ефект крайового аліайзингу зменшено до мінімуму. Також використання гексагональної решітки зекономить матеріали при виробництві пікселів в моніторах, датчиках, екранах, плазмових панелях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Bell S., Fred H. and Mason D., "A digital geometry for hexagonal pixels", Image and Vision Computing, V. 7, No. 3, pp. 194-204, 1989.
2. Luczak E. and Rosenfeld A., "Distance on a hexagonal grid", IEEE Transactions on Computers, V.C-25., No. 5, pp. 532-533, 1976.
3. Carstens B. and Quinn M., "Hexagonal domain transform for shape analysis", Intelligent Robots and Computer Vision X: Algorithms and Techniques, SPIE, V.1607, pp. 197-205, 1991.
4. Wuthrich C. A. and Stucki P., "An Algorithmic Comparison Between Square and Hexagonal-based Grid" CVGIP: Graphical Models and Image Processing, Vol. 53, pp. 324-339, 1999.
5. Романюк О. Н., та Мельник О. В., "Особливості використання гексагонального растра при побудові пристроїв відображення", Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах», Хмельницький, №3 (56), с. 105-109, 2016.
6. Гінзбург М. М. та. Путятін Є. П., "Порівняльний аналіз прямокутної та гексагональної ґраток для

МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

- дискретизації кривих”, Біоніка інтелекту № 2 (79), с. 13-18, 2012
7. Olexander N. Romanyuk, Sergii V. Pavlov, and etc. "A function-based approach to real-time visualization using graphics processing units", Proc. SPIE 11581, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2020, 115810E (14 October 2020); <https://doi.org/10.1117/12.2580212>.
 8. Leonid I. Timchenko, Natalia I. Kokriatskaia, Sergii V. Pavlov, and etc. "Q-processors for real-time image processing", Proc. SPIE 11581, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2020, 115810F (14 October 2020); <https://doi.org/10.1117/12.2580230>.

REFERENCES

1. Bell S., Fred H. and Mason D., "A digital geometry for hexagonal pixels", Image and Vision Computing, V. 7, No. 3, pp. 194-204, 1989.
2. Luczak E. and Rosenfeld A., "Distance on a hexagonal grid", IEEE Transactions on Computers, V.C-25., No. 5, pp. 532-533, 1976.
3. Carstens B. and Quinn M., "Hexagonal domain transform for shape analysis", Intelligent Robots and Computer Vision X: Algorithms and Techniques, SPIE, V.1607, pp. 197-205, 1991.
4. Wuthrich C. A. and Stucki P., "An Algorithmic Comparison Between Square and Hexagonal-based Grid" CVGIP: Graphical Models and Image Processing, Vol. 53, pp. 324-339, 1999.
5. Romaniuk O. N. and Melnyk O. V., "Osoblyvosti vykorystannia heksahonalnoho rastra pry pobudovi prystroiv vidobrazhennia ", *Vymiriuvalna ta obchysluvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh*, №3 (56), pp. 105-109, 2016.
6. Hinzburh M. M. and Putiatin Ye. P., "Porivnialnyi analiz priamokutnoi ta heksahonalnoi gratok dlia dyskretyzatsii kryvykh", Біоніка інтелекту № 2 (79), pp. 13-18, 2012.
7. Olexander N. Romanyuk, Sergii V. Pavlov, and etc. "A function-based approach to real-time visualization using graphics processing units", Proc. SPIE 11581, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2020, 115810E (14 October 2020); <https://doi.org/10.1117/12.2580212>.
8. Leonid I. Timchenko, Natalia I. Kokriatskaia, Sergii V. Pavlov, and etc. "Q-processors for real-time image processing", Proc. SPIE 11581, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2020, 115810F (14 October 2020); <https://doi.org/10.1117/12.2580230>.

Надійшла до редакції 21.05.2024р.

МЕЛЬНИК ОЛЕКСАНДР ВАСИЛЬОВИЧ – к.т.н., старший викладач кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, ***e-mail:*** vinncei@gmail.com

РОМАНЮК ОЛЕКСАНДР НИКИФОРОВИЧ – д.т.н., професор, завідувач кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, ***e-mail:*** rom8591@gmail.com.

СТАХОВ ОЛЕКСІЙ ЯРОСЛАВОВИЧ - Ph.D., доцент завідувач кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, ***e-mail:*** aleksey.stahov@gmail.com

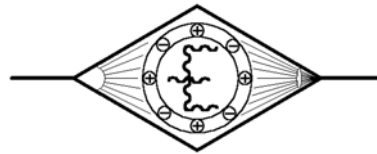
O.V. MELNYK, O.N. ROMANYUK, O.YA. STAKHOV

EFFICIENCY OF USING HEXAGONAL RASTER IN PRODUCING PIXELS IN DISPLAY DEVICES

Vinnitsia National Technical University, 21021, str. Hm. Shosse, 95, Vinnitsia, Ukraine

Vinnitsia National Technical University

Ministry of Education and Science of Ukraine
Academy of Engineering Science of Ukraine
V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of NASU
Uzhgorod National University
Georgia Technical University
Lublin Technical University
The International Societies for Optical Engineering – SPIE, OSA



Optoelectronic Information- Power Technologies

№ 1 (47), 2024

INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL

Published since 2001

The biannual publication

Media identifier – R30-01502 (Decision of the National Council of Ukraine on Television and Radio Broadcasting, No. 1234 dated October 31, 2023)

(re-registration, Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 820 dated July 11, 2016)

Category B in the field of Technical Sciences, Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine № 409 dated March 17, 2020

Recommended for publication by the decision of Science Counsel of VNTU, Protocol for № 15 of 25.06.2024

EDITORIAL BOARD ADDRESS:

Ukraine, 21021, Vinnitsia,
95, Khmelnitske Shosse

Tel.: +38 (0432) 51-32-56

Fax: +38 (0432) 46-57-72

<https://oeipt.vntu.edu.ua/>

E-mail: oeipt@gmail.com

INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL
“OPTOELECTRONIC INFORMATION-POWER TECHNOLOGIES”
EDITORIAL BOARDS

EDITOR-IN-CHIEF:

Pavlov S. V. Vinnytsia National Technical University, Ukraine

DEPUTY EDITORIAL-IN-CHIEF:

Wojcik W. T. Technological University "Lublin Politechnika", Poland

Osadchuk V. S. Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Ushenko O. G. Chernivtsi National University named after. Y. Fedkovich, Ukraine

EDITORIAL BOARD MEMBERS:

Azarov O. D.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Angelskii O. V.
Chernivtsi National University named after. Y. Fedkovich, Ukraine

Avrunin O. G.
Kharkiv National University of Radioelectronics, Ukraine

Bobitskii Y. V.
National University "Lvivska Polytechnika", Ukraine

Bisikalo O. V.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Bun R. A.
National University "Lvivska Polytechnika", Ukraine

Grabko V. V.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Kvyetnyy R. N.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Kolisnyk P.F.
Vinnitsa National Medical University named after. M.I Pirogov

Kovalenko V. S.
Research Institute of Laser Engineering and Technology National
Technical University of Ukraine "KPI", Ukraine

Kychak V. M.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Kryvonosov V.E.
National Aviation University, Kyiv, Ukraine

Kukharchuk V. V.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Kulakov P. I.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Lepikh Y. I.
Odessa National University named after. Mechnikov Ukraine

Luzhetsky V. A.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Lezhniuk P. D.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Lytvynenko V. I.
Kherson State University, Ukraine

Mamyraev O. Zh.
Institute of Information and Computational Technologies CS of MSE,
Almaty, Republic of Kazakhstan

Martunyuk T. B.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Medikovsky N. O.
National University "Lvivska Polytechnika", Ukraine

Muravsky L. I.
Physics and Mechanics Institute GV Karpenko of the National Academy of
Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine

Nykyforova L.E.
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv

Nikolaichuk Y. M.
Ternopil National Economic University, Ukraine

Osadchuk O. V.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Omiotek Z.B.
Technological University "Lublin Politechnika", Poland

Petruk V. G.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Povoroznyuk A.I.
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

Romanyuk O. N.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Rotshtein A. P.
Donetsk National University named after. Vasyl Stus

Rusyn B. P.
Physics and Mechanics Institute G V Karpenko of the National Academy
of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine

Saldan Y. R.
Vinnitsa National Medical University named after. M.I Pirogov

Shaiko-Shaikovsky O.G.
Chernivtsi National University named after. Y. Fedkovich, Ukraine

Shevchuk V. I.
Ukrainian State Research Institute of Medical and Social
Problems of Disability, Vinnytsia, Ukraine

Smailova S. S.
D.Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, Ust-
Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan

Smolarz Andrzej
Technological University "Lublin Politechnika", Poland

Sorokin V. M.
Institute of Semiconductor Physics named after. V.E. Lashkarev
National Academy of Sciences, Ukraine

Tymchyk G. S.
National Technical University of Ukraine "KPI", Ukraine

Timchenko L. I.
National Transport University, Kyiv, Ukraine

Titova N.V.
Odessa Polytechnic National University, Ukraine

Tuzhanskyi S.E.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Vasilenko V. B.
New University of Lisbon, Lisbon, Portugal

Vasilevskyi O. M.
University of Texas at Austin, USA

Vlasenko O.V.
Vinnitsa National Medical University named after. M.I Pirogov

Volodarsky E. T.
National Technical University of Ukraine "KPI", Ukraine

Yarovy A. A.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Zabolotna N. I.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

EXECUTIVE SECRETARIES:

Kozhemiako A. V. Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Tuzhanskyi S.E. Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Kostyukevych S. O. Institute of Semiconductor Physics of NASU, Kyiv, Ukraine

TECHNICAL SECRETARIES:

Pavlov V. S., Karas O.V.

EDITORS CORRECTORS:

Pradivlyanii M. G., Veremienko S. Y.

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

**Оптико-електронні
інформаційно-енергетичні
технології**

№1(47), 2024

Ідентифікатор медіа – R30-01502 (Рішення Національної ради України з питань телебачення та радіомовлення, № 1234 від 31.10.2023 року)

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради ВНТУ, протокол № 15 від 25.06.2024 р.

Редактори-коректори: Веремієнко С. Я., Прадівляний М. Г.
Технічні редактори: Павлов В. С., Карась О.В.

Підписано до друку 27.06.2024 року. Формат 29,7 × 42 ½ . Гарнітура Times New Roman.
Папір офсетний. Друк різнографічний. Умовн. друк. арк. 31,2.
Наклад 50 прим. Зам № 2024-029

Видавець та виготівник -
Вінницький національний технічний університет,
редакційно-видавничий відділ.
Україна, 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ, ГНК, кімната 114
Тел.: +380 (432) 65-18-06

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:
Україна, 21021, м. Вінниця,
вул. Хмельницьке шосе, 95.

Тел.: +38 (0432) 59-81-25
Факс: +38 (0432) 46-57-72
<https://oeipt.vntu.edu.ua/>
E-mail: oeipts@gmail.com
