

**МОДЕЛЮВАННЯ НОРМОВАНОГО СТЕПЕНЕВОГО
РАСТРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ**

М. М. Луцків, І. В. Барановський, А. В. Янчинський

Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

Розроблено математичну модель нормованого степеневого перетворення зображень світлих тонів, яка є двомісною функцією з областю визначення з одиничним растровим квадратом і множиною значень відносно площі на одиничному інтервалі $[0,1]$, яка є базовим варіантом для формування множини характеристик растрювання і за допомогою показника степеня r задає алгоритм нормованого степеневого перетворення, що дає можливість формувати різноманітні характеристики растрювання зображень, визначати їх оптичну растрову густину, відхилення від лінійності і контрастну чутливість на діапазоні тонопередачі.

У пакеті MATLAB: Simulink розроблено структурну схему моделі симулятора нормованого степеневого растрового перетворення, визначено параметри симулятора для чотирьох типових варіантів растрювання, який дає можливість формувати, розраховувати і будувати характеристики растрювання, їх відхилення від лінійності, визначати і будувати графіки растрювання оптичної густини і контрастної чутливості та аналізувати їх властивості.

Подані результати імітаційного моделювання типових варіантів характеристик нормованого степеневого растрового перетворення у вигляді згннутих кривих. Встановлено, що степеневе перетворення стискає характеристики, які відповідають світлим тонам, растрове зображення стає світлішим, а традиційна класична квадратна форма растрового елемента значною мірою висвітлює зображення. Характеристики різниць відхилення від лінійності є дещо зміненими синусоїдно подібними кривими, які, досягаючи максимального значення, поступово прямують до нуля. На початку діапазону мале значення оптичної густини плавно збільшується з наростаючим темпом і прямує до кінцевого значення $D_r = 2,307$ одиниць.

Графіки контрастної чутливості $C3$ і $C4$ є випуклими кривими, які перетинаються в околі $x = 0,55$ і досягають кінцевих значень 1,6 та 1,25 одиниць. Зауважимо, що графік контрастної чутливості растрових елементів квадратної форми є прямою лінією, а її кінцеве значення становить дві одиниці. Контрастна чутливість виражається похідною характеристики растрювання і описує здатність ока людини до розрізнення яскравості. Що вища контрастна чутливість, то краще розрізняються деталі зображення на цьому діапазоні тоновідтворення.

Результати проведених досліджень можна застосовувати у комп'ютерних видавничих системах для вибору характеристики растрів зображень світлих тонів під час їх підготовки до друку.

Ключові слова: моделювання, растрівання, степеневе перетворення, симулятор, характеристики, оптична густина, контрастна чутливість, властивості.

Постановка проблеми. Растрівання — важлива функція, яка застосовується під час відтворення зображень в поліграфії, яка полягає у перетворенні неперервного тонового зображення у мікроштрихове — у вигляді рівномірного масиву крапок або елементів інформації. У світлих тонах — крапки малі, а у темних — великі. Класичні традиційні растрові елементи мають квадратну, круглу або ромбічну форму. Інформація про показник тону на окремих ділянках зображення передається величиною площі растрових елементів. З появою комп'ютерної графіки розроблено новітні способи растрівання: частотно-модульоване (ЧМ), де перетворення півтонів досягається зміною просторової частоти розташування растрових крапок сталого розміру; змішане — АН/ЧМ (гібридні растри), за якого перетворення відбувається зміною розмірів крапок і їх розташування; стохастичне растрівання — спосіб відтворення тону завдяки випадковому розподілу дрібних растрових крапок однакового розміру [6, 8].

Вони забезпечують кращу якість друкованих кольорових зображень завдяки усуненню муару. Основною причиною, що обмежує їх широке впровадження у виробництво, є жорсткі вимоги, що ставляться до дотримання умов стандартизації та нормалізації процесів, матеріалів та устаткування. За якістю устаткування, наявністю системи автоматично зонального налагодження фарбового апарата друкарської машини, рівнем технології, культури виробництва і кваліфікації виробничого персоналу більшість друкарень неспроможні запроваджувати новітні технології растрівання не тільки в Україні, а й на Заході [6, 8]. Для досягнення успіху необхідно розробити більш коректне представлення вхідного сигналу, що продукується у процесі додрукарської підготовки зображень і подається на друкарський пристрій.

Отже, задача розроблення, моделювання і аналізу нового степеневого растрового перетворення є актуальним завданням в галузі поліграфічної технології.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У публікаціях [6, 8] висвітлені проблеми, які виникають в офсетному друці під час застосування новітніх способів растрівання, які одержані експериментальним шляхом за допомогою відтворення шкал UGRA-FOGRA і друку на якісному глянцевому папері. За кількісними табличними даними подано побудовану градаційну криву друкарського процесу для растрівання «Agfa Screening» із мінімальним розміром крапки 20 мкм. За результатами цих експериментів зроблені позитивні висновки щодо доброї передачі деталей і кольорових показників репродукції, однак відзначається й суттєвий негативний виклик — випуск кольорової репродукції за новою технологією фірми AGFA дуже вибагливий, що й є основною перепорою широкого впровадження нових способів растрівання.

Теоретично основи растрового перетворення значною мірою залежать від стану розробки теорії цифрової обробки і перетворення зображень у різних галузях науки і техніки [1, 4, 8]. У поліграфії домінують експериментальні методи, у яких застосовують різноманітні тести, на основі яких будують і аналізують градаційні характеристики, синтезують і коригують тонопередачі, що унеможливорює об'єктивну оцінку, аналіз і синтез для різних растрових елементів, вибір кращих. З іншого боку, виробники програм не розкривають моделей, на основі яких здійснюється цифрове растрування і коригування тонопередачі, приховують їх сутність, що істотно обмежує можливості їхніх користувачів.

У математичному плані модель процесу растрування подають аналітичним виразом:

$$S(x) = F(x, L, D), \quad (1)$$

де $S(x)$ — відносна площа растрового елемента, одержана після перетворення; L — лініатура растра; x — просторова змінна для заданої форми растрового елемента і відповідає оптичній густині D .

За участю авторів цієї публікації розроблені математичні моделі, побудовано і проаналізовано градаційні характеристики для растрів різної лініатури з елементами квадратної форми [2, 5], що виражені вгнутими квадратичними кривими і з елементами круглої форми [2, 7] — з S -подібними кривими. Характеристики растрування для ромбічних растрових елементів [3] подібні до характеристик круглих растрових елементів.

У працях [5, 7] запропоновано математичну модель нормованого растрового перетворення у вигляді двомісної функції з областю визначення — замкнутим одиничним растровим квадратом і множиною значень відносних площ з одиничним інтервалом $[0, 1]$:

$$S_H = F(X_H, D), \text{ якщо } 0 \leq X_H \leq 1 \text{ та } 0 \leq D \leq D_M, \quad (2)$$

де $F(X_H, D)$ — функція нормованого растрового перетворення, тип якої залежить від форми растрового елемента; X_H — нормована просторова змінна (аргумент); S_H — нормована відносна площа растрового елемента, одержана після растрового перетворення, що відповідає оптичній густині D зображення.

У публікаціях [5, 7, 8] розроблено моделі нормованого растрового перетворення для елементів квадратної, круглої і ромбічної форми, побудовано характеристики растрування і проаналізовано їх властивості. Зауважимо, що в поданих нормованих растрових перетвореннях кількість алгоритмів формування відносної площі — основного носія інформації про тон зображення — обмежена і визначається квадратною, круглою та ромбічною формами растрових елементів, що обмежує їх властивості щодо формування характеристик растрового перетворення.

Отже, задача розроблення, моделювання і аналізу нового степеневого растрового перетворення є актуальним завданням в галузі растрування зображень.

Мета статті — розробити математичну модель і симулятор нормованого степеневого растрового перетворення та подати результати імітаційного моделювання, характеристики растрування, графіки растрової оптичної густини та контрастної чутливості та проаналізувати їхні властивості.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для побудови моделі нормованого степеневого растрового перетворення приймаємо, що вона є двомісною функцією з областю визначення — одиничним растровим квадратом і множиною значень відносної площі на одиничному інтервалі $[0, 1]$. Квадратна растрова комірка має сталі одиничні розміри. У процесі растрового перетворення геометричні розміри растрового елемента змінюються в межах $[0, 1]$. Приймавши геометричні розміри растрового елемента за аргумент, подамо степеневу функцію нормованого степеневого растрового перетворення у вигляді:

$$S = X^r, \text{ якщо } 0 \leq X \leq 1 \text{ та } 0 \leq S \leq 1, \quad (3)$$

в якому X — нормована просторова змінна (аргумент); S — нормована відносна площа растрових елементів, одержана після перетворення; r — показник степеня, який задає алгоритм нормованого растрового перетворення і характеристику растрівання.

Якщо у виразі (3) лінійно змінювати просторову змінну X у заданих межах, то можна розрахувати і побудувати характеристику нормованого растрового перетворення та проаналізувати її властивості, які залежать від показника степеня. Для дослідження опрацювали типові варіанти нормованого степеневого перетворення:

$$S_1 = X^1, \quad (4)$$

$$S_2 = X^{1,3}, \quad (5)$$

$$S_3 = X^{1,6}, \quad (6)$$

$$S_4 = X^{2,0}, \text{ якщо } 0 \leq X \leq 1. \quad (7)$$

Для оцінки впливу форми характеристики нормованого перетворення типових варіантів визначили їх різниці від лінійного перетворення.

$$E_i = S_i - S_1, \quad (8)$$

де S_i — характеристики растрівання для типових варіантів перетворення; S_1 — лінійна характеристика.

Щоб кількісно оцінити нормоване растрове перетворення, здійснили демодуляцію растрового перетворення зображень, яка ґрунтується на основі відомого виміру оптичної густини [8]:

$$D_r = \lg(1/(1,005 - S)), \quad (9)$$

де D_r — інтегральна (растрова) оптична густина нормованого растрового перетворення.

Для кількісної оцінки зорового сприйняття нормованого степеневого перетворення, визначено його контрастну чутливість [4]:

$$C = \frac{dS_i}{dS_1}, \quad (10)$$

яка визначається похідною від зміни відносної площі розрахованого нормованого степеневого перетворення по зміні вхідної відносної площі на інтервалі визначення.

На основі викладеного і виразів (4) – (10) можна розрахувати і побудувати характеристику нормованого степеневого растрового перетворення і їх різниці, графіки оптичної густини і контрастної чутливості. Для спрощення розв'язання поставлених завдань застосовано об'єктно-орієнтоване програмування у пакеті

MATLAB:Simulink. На основі викладеного розроблено структурну схему моделі симулятора нормованого степеневого растрового перетворення, схема якого подана на рис. 1. Симулятор паралельно розраховує типові варіанти характеристик нормованого растрового перетворення, визначає їх різниці E , визначає растрову оптичну густину D_r і контрастну чутливість.

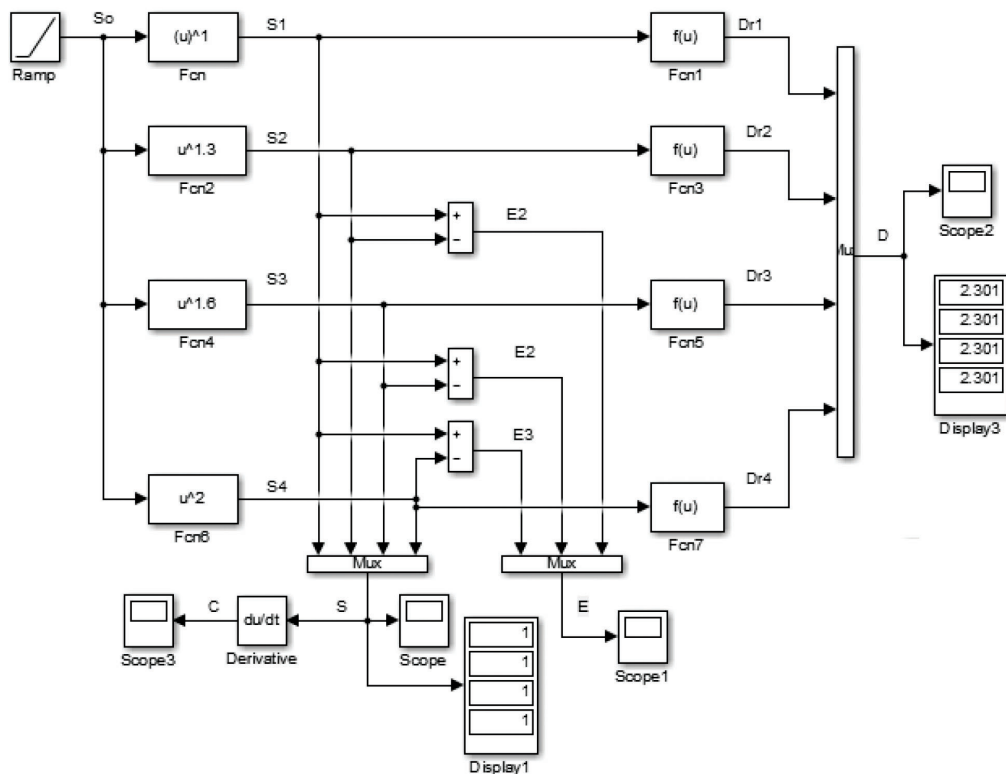


Рис. 1. Структурна схема моделі симулятора нормованого степеневого растрового перетворення

Блок Ramp генерує нормовану лінійну просторову змінну X в межах $[0,1]$, яка паралельно подається на входи функціональних блоків математичних функцій першого стовпця Fcn, Fcn2, Fcn4, у діалогових вікнах яких записані програми-вирази (4) – (7) для обчислення характеристик растрівання $S1 - S4$, які подаються на входи блоків додавання Add, на виходах яких одержуються різниці $E2 - E4$. Обчислені відносні площі подаються на входи блоків функціональних математичних функцій Fcn1, Fcn3, Fcn5, Fcn7, у діалогових вікнах яких записана програма-вираз (9) для обчислення растрової оптичної густини D_r . Результати обчислень подаються на входи мультиплексорів і паралельно візуалізуються блоками Scope і Display. Контрастна чутливість C визначається за допомогою функціонального блока Derivative (похідна) і відповідно візуалізується.

Налаштували функціональні блоки математичних функцій на задані вирази. Результати імітаційного моделювання типових варіантів характеристик нормованого растрового перетворення цифрових зображень подані на рис. 2.

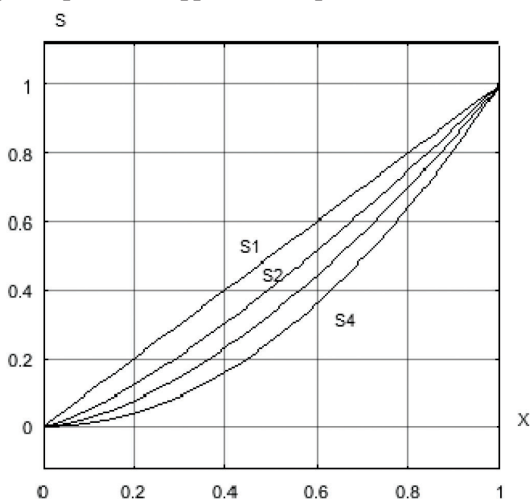


Рис. 2. Характеристики нормованого растрового перетворення

Перша лінійна характеристика S_1 відповідає лінійному перетворенню. Характеристики нормованого растрового перетворення є вгнутими кривими. Зауважимо, що степеневе растрове перетворення стискає характеристики, які відповідають світлим тонам, а растрові зображення стають світлішими. Традиційна класична, квадратна форма растрового елемента S_4 значною мірою розсвітлює зображення.

Результати моделювання різниць відхилення характеристик нормованого степеневого растрового перетворення подані на рис. 3.

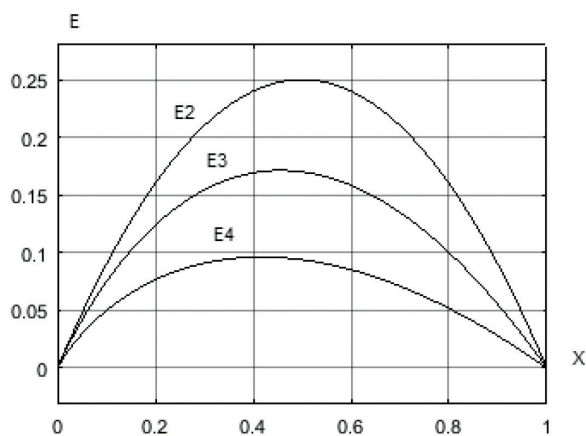


Рис. 3. Графіки різниць відхилення характеристик нормованого степеневого растрового перетворення

Характеристики різниць відхилення є синусоїдно подібними кривими, дещо зменшені праворуч, досягають максимальних значень $E_m = 0,1; 0,17; 0,25$ одиниць, після чого стають випуклими кривими і поступово прямують до кінцевих нульових значень. Отже, графіки різниць кількісно і якісно оцінюють вплив показника степеня на форму типових варіантів нормованого степеневого перетворення зображень та растрівання.

Результати моделювання демодуляції нормованого степеневого растрового перетворення растрової оптичної густини зображень подані на рис. 4.

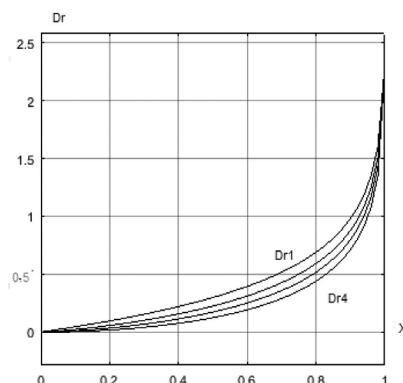


Рис. 4. Графіки растрової оптичної густини

Растрова оптична густина визначається на основі логарифмічного виразу (9) і відповідає сприйняттю зображення зоровою системою людини, маючи свої особливості [4]. На початку діапазону оптична густина є малою і плавно збільшується. На середніх тонах в околі $X = 0,6$ становить: 0,392; 0,309; 0,249; 0,290 одиниць, після цього швидше із наростаючим темпом збільшується і прямує до піку значень $D_r = 2,301$ одиниць.

Результати імітаційного моделювання контрастної чутливості нормованого степеневого растрового перетворення подані на рис. 5.

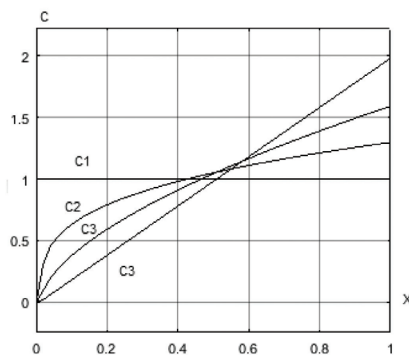


Рис. 5. Графіки контрастної чутливості типових варіантів нормованого степеневого перетворення

Початкові значення контрастної чутливості дорівнюють нулеві. Контрастна чутливість растрових елементів квадратної форми S_4 — прямі лінії, а її кінцеве значення становить дві одиниці. Графіки контрастної чутливості C_3 і C_4 є випуклими кривими, які перетинаються в околі $X = 0,55$ і досягають кінцевих значень 1,6 та 1,25 одиниць. Зауважимо, що контрастна чутливість лінійного растрового перетворення S_1 дорівнює одиниці на всьому інтервалі тонопередачі. Контрастна чутливість виражається похідною характеристики растрування і характеризує здатність ока людини до розрізнення яскравості [4]. Що більша контрастна чутливість, то краще розрізняються деталі зображення на цьому діапазоні тоновідтворення.

Результати наведених досліджень можна застосувати у комп'ютерних видавничих системах для вибору характеристик растрування зображення світлих тонів під час їх підготовки до друку.

Висновки. Розроблено математичну модель нормованого степеневого растрового перетворення зображень світлих тонів, яка є функцією з областю визначення в одиничному растровому квадраті та описується відносною площею на одиничному інтервалі $[0, 1]$ і за допомогою показника степеня r задає алгоритм нормованого степеневого перетворення, що дає можливість формувати різноманітні характеристики растрування зображень. Для аналізу властивостей степеневого растрового перетворення визначили їх растрову оптичну густину, відхилення від лінійності та контрастну чутливість на діапазоні тонопередачі.

Розроблено структурну схему моделі Simulink симулятора нормованого степеневого перетворення, визначено програму і параметри симулятора для чотирьох типових варіантів растрування. Подані результати імітаційного моделювання.

Встановлено, що степеневе растрове перетворення дає можливість за допомогою показника степеня r задавати різні алгоритми нормованого степеневого перетворення і формувати різноманітні характеристики растрування зображень, які є вгнутими кривими, тому добре відтворюються різні відтінки світлих тонів, а растрове зображення розсвітлюється. Доведено, що традиційна класична квадратна форма растрових елементів значною мірою розсвітлює зображення, а їх характеристика є найбільш вгнутою кривою, вище якої розташовується спектр характеристик растрування різної кривизни, які зверху обмеженні прямою лінією.

Оптична густина степеневого растрового перетворення зображень на початку діапазону є малою, далі плавно збільшується і в околі $X = 0,6$ становить: 0,392; 0,309; 0,249; 0,190 одиниць, після цього швидше із наростаючим темпом збільшується і прямує до кінцевого значення $D_r = 2,301$ одиниць. Початкові значення контрастної чутливості степеневого перетворення дорівнюють нулю. Контрастна чутливість растрових елементів квадратної форми є пряма лінія, а її кінцеве значення становить дві одиниці. Графіки контрастної чутливості C_3 і C_4 є випуклими кривими, які перетинаються в околі $X = 0,55$ і досягають кінцевих значень 1,6 та 1,25 одиниць, натомість контрастна чутливість лінійного растрового перетворення S_1 дорівнює одиниці і є сталою на усьому інтервалі тонопередачі. Контрастна чутливість характеризує здатність ока людини до розрізнення яскравості,

що більша контрастна чутливість, то краще можна розрізнити деталі зображення на цьому діапазоні тоновідтворення.

Результати проведених досліджень можна застосувати у комп'ютерних видавничих системах для вибору характеристики растровання зображень світлих тонів під час їх підготовки до друку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський І. В., Яхимович Ю. Я. Поліграфічна переробка образотворчої інформації : навч. посіб. Київ-Львів : ІЗМН, 1998. 420 с.
2. Барановський І. В., Луцків М. М., Філь Г. Д., Чорнозубова Г. Д. Побудова і аналіз характеристик кастрування. Наукові записки [Української академії друкарства]. 2013. № 1167. С. 131–138.
3. Барановський І. В., Філь Л. В. Аналіз характеристик растровання ля ромбічного растрового елемента. Комп'ютерні технології друкарства. 2013. № 30. С. 150–157.
4. Воробель Р. А. Логарифмічна обробка зображень. Київ : Науково-виробниче підприємство «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2012. 232 с.
5. Гунько Д. Т. Моделювання нормованого растрового перетворення для елементів квадратної форми. Квалілогія книги. 2020. № 2 (38). С. 160–169.
6. Лотошинська Н. Д., Івахів О. В. Теорія кольору та кольоротворення : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. 204 с.
7. Луцків М. М., Гунько Д. Т. Моделювання нормованого растрового перетворення для елементів круглої форми. Поліграфія і видавнича справа. 2020. № 2 (80). С. 116–123.
8. Мартинюк В. Т. Основи додрукарської підготовки образотворчої інформації : К. 2. Основи опрацювання образотворчої інформації : підруч. Київ : Університет «Україна», 2009. 292 с.

REFERENCES

1. Baranovskyi, I. V., & Yakhymovych, Yu. Ya. (1998). Polihrafichna pererobka obrazotvorchoi informatsii. Kyiv-Lviv : IZMN (in Ukrainian).
2. Baranovskyi, I. V., Lutskiv, M. M., Fil, H. D., & Chornozubova, H. D. (2013). Pobudova i analiz kharakterystyk kastruvannia: Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii drukarstva], 1167, 131–138 (in Ukrainian).
3. Baranovskyi, I. V., & Fil, L. V. (2013). Analiz kharakterystyk rastruvannia lia rombichnoho rastrovoho elementa: Komp'iuterni tekhnolohii drukarstva, 30, 150–157 (in Ukrainian).
4. Vorobel, R. A. (2012). Loharyfmichna obrobka zobrazhen. Kyiv : Naukovo-vyrobnyche pidpriemstvo «Vydavnytstvo «Naukova dumka» NAN Ukrainy» (in Ukrainian).
5. Hunko, D. T. (2020). Modeliuvannia normovanoho rastrovoho peretvorennia dla elementiv kvadratnoi formy: Kvalilohiia knyhy, 2 (38), 160–169 (in Ukrainian).
6. Lotoshynska, N. D., & Ivakhiv, O. V. (2014). Teoriia koloru ta kolorotvorennia. Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki (in Ukrainian).
7. Lutskiv, M. M., & Hunko, D. T. (2020). Modeliuvannia normovanoho rastrovoho peretvorennia dla elementiv kruhloi formy: Polihrafiia i vydavnycha sprava, 2 (80), 116–123 (in Ukrainian).

8. Martyniuk, V. T. (2009). Osnovy dodrukarskoi pidhotovky obrazotvorchoi informatsii : K. 2. Osnovy opratsiuvannia obrazotvorchoi informatsii. Kyiv : Universytet «Ukraina» (in Ukrainian).

doi: 10.32403/2411-3611-2024-1-45-7-17

SIMULATION OF NORMALIZED POWER RASTER TRANSFORMATION

M. M. Lutskevych, I. V. Baranovskyi, A. V. Yanchinskyi

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
lutolen@i.ua,
ihbar@ukr.net*

A mathematical model of the normalized power transformation of light-tone images is developed, which is a two-digit function with a definition area with a single raster square and a set of values relative to the area on a unit interval $[0,1]$, which is a basic option for forming a set of rasterization characteristics and using the power indicator r sets the algorithm of normalized power transformation, which makes it possible to form various characteristics of the image rasterization, to determine their optical raster density, deviation from linearity and contrast sensitivity in the range of tone transfer.

In the MATLAB: Simulink package, the structure diagram of the model of the normalized power raster transformation simulator is developed, the parameters of the simulator are defined for four typical options of rasterization, which makes it possible to form, calculate and construct rasterization characteristics, their deviations from linearity, determine and construct graphs of rasterization of optical density and contrast sensitivity and analyze their properties.

The results of simulation modeling of typical variants of the characteristics of the normalized power raster transformation in the form of concave curves are presented. It is found that the power transformation compresses the characteristics that correspond to light tones, the raster image becomes brighter, and the traditional classic square shape of the raster brightens the image significantly. The characteristics of the deviation from linearity are slightly modified sinusoidal curves, which, reaching a maximum value, gradually approach zero. At the beginning of the range, the small value of the optical density increases smoothly with an increasing rate and goes to the final value of $D_r = 2.307$ units.

Contrast sensitivity graphs C_3 and C_4 are convex curves that intersect around $x = 0.55$ and reach final values of 1.6 and 1.25 units. It is noted that the graph of contrast sensitivity of square raster elements is a straight line, and its final value is two units. Contrast sensitivity is expressed as a derivative of the raster characteristic and

describes the ability of the human eye to distinguish brightness. The higher the contrast sensitivity is, the better the details of the image are distinguished in the given range of tone reproduction.

The results of the conducted research can be applied in computer publishing systems to select the rasterization characteristics of light tone images when preparing them for printing.

Keywords: *modeling, rasterization, power transformation, simulator, characteristics, optical density, contrast sensitivity, properties.*

Стаття надійшла до редакції 05.03.2024.

Received 05.03.2024.