

УДК 655.255.3+681.511

МОДЕЛЮВАННЯ НОРМОВАНОГО РАСТРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ КРУГЛОЇ ФОРМИ

М. М. Луцків, Д. Т. Гунько

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

Розроблено модель нормованого растрового перетворення для елементів круглої форми і побудовано структурну схему моделі, яка дає можливість розраховувати і будувати характеристики нормованого растрового перетворення, на основі яких шляхом масштабування можна побудувати характеристики растрівання для різної лініатури растра, що зручно для практичних застосувань. Подано результати імітаційного моделювання, побудовано характеристики растрівання і проаналізовано їх властивості. Подано характеристику растрівання для лініатури 100 лін/см у відсотках. Характеристика є S-подібною кривою. Для об'єктивної кількісної оцінки растрового перетворення запропоновано визначати відхилення характеристики від лінійної. Графік відхилення характеристики від лінійності, який поданий у відсотках, є U-подібною кривою. Встановлено, що характеристики є U-подібними кривими, а максимальне відхилення від лінійності перебуває в межах від -15,9 % до +11,7 %, що потребує коригування. Оскільки відносна площа растрового елемента відповідає густині зображення, то на середніх тонах буде розсвітлення зображення, а на сірих — затемнення зображення порівняно із оригіналом. Отже, растрове перетворення спричиняє спотворення тонопередачі, тому його необхідно коригувати на стадії підготовки зображення до друкування.

Ключові слова: растрове перетворення, нормування, растрова точка, моделювання, характеристики, нелінійність, відхилення, якість.

Постановка проблеми. Для відтворення напівтонових зображень поліграфічними засобами застосовують дискретизацію зображення — розкладання його на дрібні елементи, перетворення у растрову форму і виготовлення растрової форми, яка складається із пробільних і друкарських елементів. При друкуванні неперервний фарбовий потік модулюється растровою формою, а створене на формі растрове зображення передається на задруковуваний матеріал. Сьогодні застосовують класичні методи растрівання у системах CtP, у яких можна вибрати необхідну форму растрового елемента і задати потрібну лініатуру. Виробники CtP, зокрема фірма AGFA, розробили і на замовлення клієнтів інсталиють альтернативні програми частотного, гібридного і стохастичного растрівання, які забезпечують вищу якість растрових зображень, зокрема кращу якість кольорових видань [1, 4, 7, 8]. Основною проблемою є жорсткі вимоги до стандартизації та нормалізації

усіх процесів, матеріалів, машин і наявність дорогих багатоканальних систем зонального автоматичного налагодження подачі фарби на заданий наклад, що значно обмежує впровадження альтернативних методів растрівання [4, 5, 9].

Теоретичні основи растрового перетворення значно відстають від теорії цифрової обробки і перетворення зображень у різних галузях [5, 10], переважають експериментальні методи, на основі яких будують і аналізують градаційні характеристики процесу растрівання, що унеможлиблює об'єктивну оцінку, аналіз і оптимізацію растрового перетворення для різної форми растрових елементів, вибір кращих. Тому моделювання нормованого растрового перетворення є актуальною задачею, що дає змогу оцінити його якість незалежно від лініатури і різної форми растрових елементів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вдосконалення традиційного растрового процесу потребує математичного моделювання растрового перетворення в контексті подальшого коригування із врахуванням різних технологічних впливів під час виготовлення форми і друкування. Сьогодні широко розвинені методи обробки цифрових зображень та їх математичні моделі, які дають змогу значно покращити візуальну якість зображення на екрані монітора [5]. Здебільшого під час цифрової обробки зображень оперують градаціями сірого. Натомість при растровому перетворенні оперують зміною геометричних розмірів і площі растрових елементів. Тому наявні методи обробки цифрових зображень безпосередньо не можна застосувати для аналізу растрового перетворення.

У працях [1, 7, 4] продано загальні відомості про технологію растрівання, растрову тонопередачу, узгодження діапазонів тонопередачі. У публікаціях [2, 3] подано математичні моделі растрового перетворення, побудовано характеристики растрівання для елементів різної форми і лініатури, здійснено їх аналіз. У статті [3] запропоновано інтегральний показник оцінки якості процесу растрівання, який дає кількісну оцінку растрівання. У публікації [2] опрацьовано паралельну корекцію растрового перетворення для елемента квадратної форми. У праці [10] розроблено математичні моделі технологічного процесу растрівання і побудовано характеристики растрівання, оцінено їх властивості для елементів різної форми і лініатури. Встановлено, що за лінійністю характеристики растрівання кращим є елемент ромбічної форми. Розроблено аналітичний метод корекції процесу растрівання для послідовної корекції, що забезпечує лінійність растрівання.

У публікації [8] побудовано моделі дискретного формування растрових елементів квадратної і круглої форми, виконано їх аналіз. Опрацьовано нові конфігурації бітових карт, які забезпечують лінійність перетворення і меншу похибку за площею растрових елементів різної форми і лініатури. У поданих та інших доступних публікаціях немає загального підходу до аналізу і оцінки якості растрового перетворення, що є недоліком.

Мета статті — побудувати математичну модель нормованого растрового перетворення до елемента круглої форми. Визначити і побудувати характеристики растрового перетворення і проаналізувати їх властивості.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час цифрової обробки зображень оперують пікселями вихідного зображення, градаціями сірого, що найчастіше перебуває в діапазоні $[0,255]$. Для покращення якості растрового зображення в поліграфії застосовують локальну зміну розмірів растрового елемента, які відповідають вихідному зображенню. Растрове перетворення над зображенням виконують безпосередньою зміною геометричних розмірів елементів, розміщених в комірках растрової решітки, і описується площею, яка залежить від оптичної густини оригіналу. Загалом такий спосіб перетворення зображень може бути виражений функцією градаційного перетворення, яка описується характеристикою растрового перетворення.

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

де x — геометричний розмір растрового елемента, який розміщений у растровій комірці; S — площа растрового елемента, одержана після перетворення, яка відповідає оптичній густині на комірці.

Залежно від типу друкованої продукції (книжкова, журнальна, газетна) та матеріалів використовують різні форми растрових елементів і лініатуру растра, які значно впливають на якість друкованої продукції, що ускладнює аналіз растрового перетворення. Щоб узагальнити аналіз, запропоновано математичну модель нормованого растрового перетворення у вигляді двомісної функції з областю визначення замкнутим одиничним квадратом і множиною значень — замкнутим одиничним інтервалом $[0,1]$. Основні властивості цієї функції: більше 0, якщо один із аргументів дорівнює одиниці, то функція дорівнює одиниці. Графічне подання запропонованої функції у вигляді схеми геометрії нормованого растрового перетворення для елемента круглої форми, яка розміщена в центрі комірки растрової решітки, подано на рис. 1.

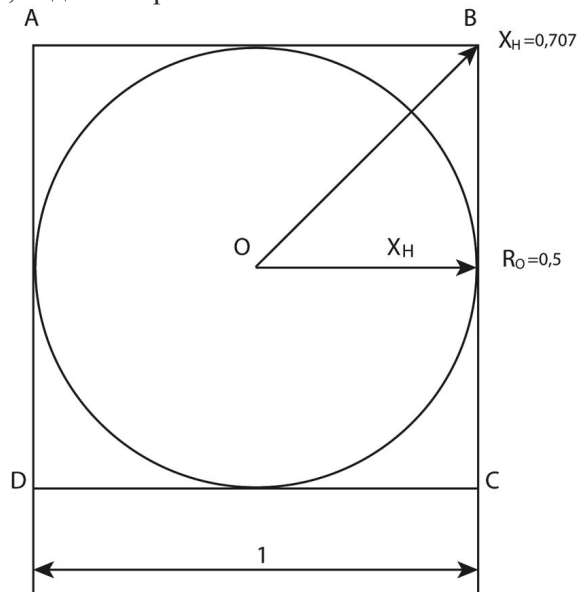


Рис. 1. Схема геометрії нормованого растрового перетворення для елемента круглої форми

Одиничний квадрат ABCD має сталі одиничні розміри. Растровий елемент круглої форми розташований у центрі квадрата. У процесі растрового перетворення змінюються геометричні розміри колового елемента, які подано радіусом, що змінюється в межах $0 \leq X_H \leq 0,5$. Приймаючи геометричні розміри растрового елемента за аргумент відповідно до (1) і рис. 1, запишемо функцію градаційного перетворення для першого інтервалу:

$$S_{1H} = \pi X_H^2, \text{ якщо } 0 \leq X_H \leq 0,5, \quad (2)$$

де X_H — аргумент (нормована просторова змінна); 0,5 — половина сторони одиничного квадрата.

При подальшому збільшенні радіуса растрового елемента він втрачає форму кола, його поверхня поступово обмежується одиничним квадратом, а радіус кола прямує до свого максимального значення відрізка $X_M = 0B = 0,5\sqrt{2} = 0,707$. Тоді площа растрового елемента стає площею фігури, яку відсікає одиничний квадрат ABCD від круга радіусом $0,5 \leq X \leq 0,707$, що може бути виражена, як різниця площі круга і сумарної площі 4 сегментів відповідної геометричної фігури (рис. 1) [2].

$$S_{2H} = \pi X_H^2 = 4X_H^2 \arctg \sqrt{\frac{X_H^2}{0,5^2} - 1} + 4 \cdot 0,5^2 \sqrt{\frac{X_H^2}{0,5^2} - 1},$$

якщо $0,5 \leq X \leq 0B = 0,5\sqrt{2} = 0,707$. (3)

Тоді функція традиційно на перетворення

$$S_H = S_{1H} + S_{2H}. \quad (4)$$

Після підстановки функція градаційного перетворення для нормованого растрового перетворення для елемента круглої форми:

$$S_H \begin{cases} \pi X_H^2, \text{ якщо } 0 \leq X_H \leq 0,5 \\ \pi X_H^2 - 4X_H^2 \arctg \sqrt{\frac{X_H^2}{0,5^2} - 1} + 4 \times 0,5^2 \sqrt{\frac{X_H^2}{0,5^2} - 1}, \\ \text{якщо } 0,5 \leq X \leq 0,707. \end{cases} \quad (5)$$

Оскільки характеристика растрового перетворення є S-подібною кривою, то для оцінки нелінійності перетворення запропоновано визначити відхилення характеристики від лінійності:

$$E = [S_H - S_o] \times 100\%, \quad (6)$$

де S_o — лінійна характеристика.

Розв'язання поставленої задачі побудови характеристик нормованого растрового перетворення традиційним методом складання комп'ютерної програми та її налагодження ускладнює задачу. Тому для спрощення задачі застосовуємо імітаційне моделювання. На основі викладеного і парадигми об'єктно-орієнтованого програмування [6] побудовано структурну схему моделі нормованого растрового перетворення для елемента круглої форми в пакеті Matlab:Simulink (рис. 2).

У верхній частині розташована схема обчислення площі нормованого растрового елемента на інтервалі $[0; 0,5]$. Блок *Ramp* генерує лінійно наростаючий нормований розмір растрового елемента, який обмежується до межі $[0; 0,5]$. У блоці

математичних функцій $Fcn1$ записана програма обчислення площі S_{Hr} відповідно до виразу (2). У нижній частині міститься схема для обчислення площі растрового елемента на другому інтервалі $[0.5; 0.707]$, яка записана у блоці $Fcn2$. Блоки $Step$ комутують виділені інтервали геометричних розмірів. На виході блока сумування одержується обчислена площа S_{Hr} . Для візуалізації результатів імітаційного моделювання застосовано блоки $Scope$ і $Display$. Знизу розташована схема, яка визначає відхилення характеристики нормованого растрового перетворення від лінійності відповідно до виразу [5]. На рис. 3 передані результати імітаційного моделювання у вигляді градаційної характеристики нормованого растрового перетворення.

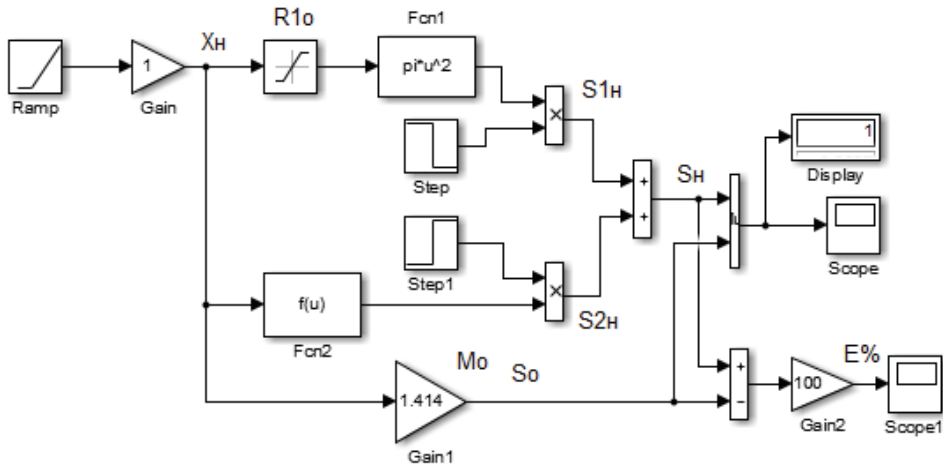


Рис. 2. Структурна схема моделі нормованого растрового перетворення

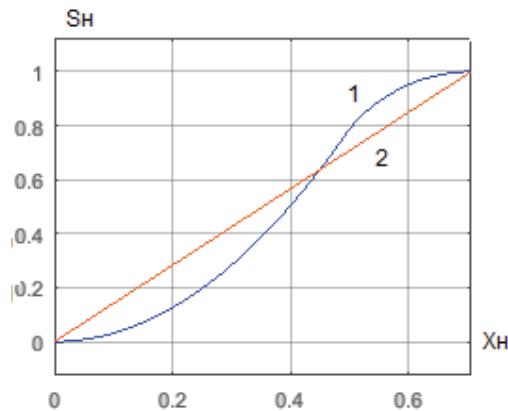


Рис. 3. Характеристики нормованого растрового перетворення:
 1 — растрове перетворення; 2 — лінійне перетворення

Для порівняння на рисунку подана лінійна градаційна характеристика. Побудована градаційна характеристика нормованого растрового перетворення є S-подібною кривою. На початку діапазону характеристика розташовується нижче

лінійної, пересікає лінійну і на другому діапазоні розміщується вище. У кінці прямує до одиниці. Результати моделювання відхилення характеристики нормованого растрового перетворення від лінійності подані у відсотках (рис. 4).

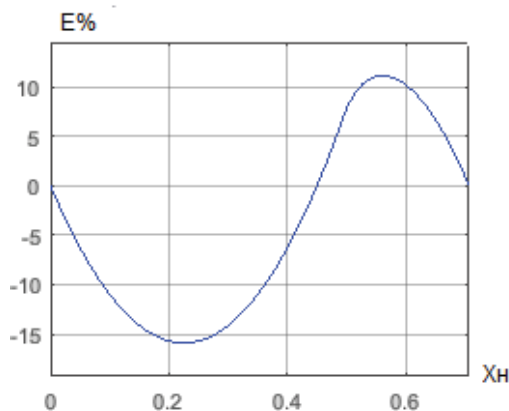


Рис. 4. Графік відхилення характеристики растровання від лінійності

На початку діапазону відхилення від лінійності є від'ємне, поступово збільшується, досягає мінімального значення $-15,9\%$, переходить через 0, поступово збільшується, досягаючи максимуму $+11,2\%$, а в кінці інтервал прямує до 0. Нелінійність характеристики нормованого растрового перетворення спричинює спотворення тонопередачі, тому її необхідно коригувати. Однією із основних властивостей нормованого растрового перетворення є масштабування, що дає змогу відносно просто будувати характеристики растровання для різної лініатури. Масштабування здійснюється шляхом множення вихідного сигналу блока *Ramp* на масштаб $M = \frac{1}{2L}$, який задається у діалоговому вікні блока *Gain*. Для прикладу на рис. 5 наведено характеристику растровання для лініатури $L=100$ лін/см, що подана у відсотках, розміри в мікронах.

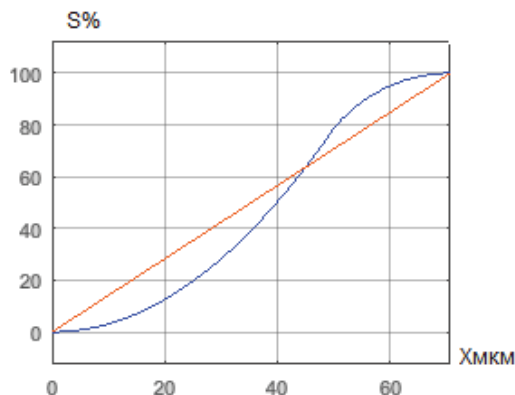


Рис. 5. Характеристика растровання

Характеристика растрування є *S*-подібною кривою, яка на початку діапазону тонопередачі є ввігнутою, а в кінці — опуклою. Побудовану характеристику використовують на стадії підготовки зображення до растрування і корекції тонопередачі.

Висновки. Розроблено математичну модель нормованого растрового перетворення для елемента круглої форми з нормованою одиничною площею, яка описує залежність площі растрового елемента від його геометричних розмірів, яка є носієм інформації на нормованому інтервалі тонопередачі.

Опрацьована структурна схема імітаційної моделі у пакеті Matlab:Simulink, яка дає можливість обчислювати і будувати характеристики нормованого растрового перетворення, на основі якої відносно простого шляхом масштабування можна побудувати характеристики растрування для різної лініатури растра, що зручно для практичних застосувань.

Подано результати імітаційного моделювання у вигляді характеристик нормованого растрового перетворення, за якими встановлено, що вони є нелінійними, а максимальне відхилення від лінійності перебуває в межах від -15,9 % до +11,2 %. Розглянуто приклад масштабування нормованого растрового перетворення для лініатури 100 лін/см, подану у відсотках, а розміри радіуса елемента в мікронах. Результати роботи можна використовувати на стадії підготовки зображень до растрування і корекції тонопередачі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський І. В., Яхимович Ю. П. Поліграфічна переробка образотворчої інформації : навч. посіб. Київ-Львів : ІЗНН, 1998. 400 с.
2. Побудова і аналіз характеристики растрування / Барановський І. В., Луцків М. М., Філь Л. В., Чернозубова Г. А. Наукові записки [Української академії друкарства]. 2013. № 4. С. 102–110.
3. Барановський І. В., Філь Л. В. Аналіз характеристики растрування для ромбічного растрового елемента. Комп'ютерні технології друкарства. 2013. № 30. С. 150–157.
4. Блантер Д. Сканирование и растривание изображений. Москва : ЕКОМ, 1999. 384 с.
5. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Москва : Техносфера, 2012. 1104 с.
6. Гультьев А. К. MatLab 5.2. Имитационное в среде Windows : практич. посіб. Санкт-Петербург : Корона принт, 1999. 282 с.
7. Кузнецов Ю. В. Технология обработки изобразительной информации. Санкт-Петербург : Петербургский ин-т печати, 2002. 312 с.
8. Логойда М. М., Луцків М. М. Імітаційна модель дискретного відтворення елемента круглої форми. Поліграфія і видавнича справа. 2014. № 1 (65–66). С. 63–69.
9. Луцків М. М. Цифрові технології друкарства : монографія. Львів : УАД, 2012. 488 с.
10. Предко Л. С. Проектування додрукарських процесів : навч. посіб. Львів : УАД, 2009. 352 с.
11. Стефанишин Н. І., Шовгенюк М. В. Сучасні технології цифрового растрування. Комп'ютерні технології друкарства. 2001. № 6. С. 101–109.

REFERENCES

1. Baranovskyi, I. V., & Yakymovych, Yu. P. (1998). Polihrafichna pererobka obrazotvorchoi informatsii. Kyiv-Lviv : IZNN (in Ukrainian).
2. Baranovskyi, I. V., Lutskiv, M. M., Fil, L. V., & Chornozubova, H. A. (2013). Pobudova i analiz kharakterystyky rastruvannia: Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii drukarstva], 4, 102–110 (in Ukrainian).
3. Baranovskyi, I. V., & Fil, L. V. (2013). Analiz kharakterystyky rastruvannia dlia rombichnoho rastrovoho elementa: Kompiuterni tekhnolohii drukarstva, 30, 150–157 (in Ukrainian).
4. Blanter, D. (1999). Skanirovanie i rastrirovanie izobrazhenij. Moskva : EKOM (in Russian).
5. Gonsales, R., & Vuds, R. (2012). Cifrovaja obrabotka izobrazhenij. Moskva : Tehnosfera (in Russian).
6. Gul'tjaev, A. K. (1999). MatLab 5.2. Imitacionnoe v srede Windows. Sankt-Peterburg : Korona print (in Russian).
7. Kuznecov, Ju. V. (2002). Tehnologija obrabotki izobrazitel'noj informacii. Sankt-Peterburg : Peterburgskij in-t pechati (in Russian).
8. Lohoida, M. M., & Lutskiv, M. M. (2014). Imitatsiina model dyskretnoho vidtvorennia elementa kruhloi formy: Polihrafiia i vydavnychy sprava, 1 (65–66), 63–69 (in Ukrainian).
9. Lutskiv, M. M. (2012). Tsyfrovi tekhnolohii drukarstva. Lviv : UAD (in Ukrainian).
10. Predko, L. S. (2009). Proektuvannia dodrukarskykh protsesiv. Lviv : UAD (in Ukrainian).
11. Stefanyshyn, N. I., & Shovheniuk, M. V. (2001). Suchasni tekhnolohii tsyfrovoho rastruvannia: Kompiuterni tekhnolohii drukarstva, 6, 101–109 (in Ukrainian).

doi: 10.32403/0554-4866-2020-2-80-29-37

MODELLING OF NORMALIZED RASTER TRANSFORMATION FOR ROUND ELEMENTS

M. M. Lutskiv, D. T. Hunko

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

A model of normalized raster transformation for round elements is developed and a block diagram of the model is constructed, which allows one to calculate and build the characteristics of normalized raster transformation, on the basis of which it is possible to build rasterization characteristics for different raster lines by scaling, which is convenient for practical applications. The results of simulation modelling are presented, the rasterization characteristics are constructed and their properties are analysed. The characteristic of rasterization for a ruler of 100 lines/cm in percent is presented. The characteristic is an S-shaped curve, which is noticeable at the beginning of the transmission range, and convex curves at the end. To objectively quantify the raster transformation, it is suggested to determine the deviation of the characteristic from the

linear one. The graph of the deviation of the characteristic from the linearity given in percent is a U-shaped curve. It is established that the characteristics are U-shaped curves, and the maximum deviation from linearity is in the range from -15.9% to +11.7%, which requires the adjustment. Since the relative cloak of the raster element corresponds to the density of the image, the midtones will lighten the image and the grayscale will darken the image compared to the original. Therefore, raster transformation causes the tone distortion, so it must be adjusted at the stage of preparing the image for printing.

Keywords: raster transformation, normalization, raster point, modelling, characteristics, nonlinearity, deviation, quality.

Стаття надійшла до редакції 19.05.2020.

Received 19.05.2020.