

Кавин С.Я.

Національний університет «Львівська політехніка»

МОДЕЛЮВАННЯ СТЕПЕНЕВО-ЛІНІЙНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ СВІТЛИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Стаття присвячена розробці моделі степенево-лінійного перетворення зображень на основі аналізу властивостей класичних параметрів в додрукарських процесах поліграфії, (таких як градаційні характеристики, оптична щільність та контрастна чутливість), з метою вирішення задачі покращення візуальної якості зображень.

Розкрито суть явища постеризації – візуально помітні переходи від одного до іншого рівня сірого в темних ділянках зображення, що спотворює зображення.

У статті розроблено і представлено математичну модель степенево-лінійного перетворення цифрових зображень світлих тонів шляхом комбінації степеневого і лінійного перетворень. В процесі дослідження опрацьовано і представлено три типові варіанти степенево-лінійного перетворення зображень. Визначено градаційні характеристики, оптичну густину та контрастну чутливість, яка кількісно оцінює сприйняття зображення зоровою системою людини.

У статті розроблено і представлено модель трьохканального симулятора степенево-лінійного перетворення цифрових зображень у пакеті MATLAB:Simulink, що дає можливість розраховувати і будувати градаційні характеристики типових перетворень, оптичну густину та контрастну чутливість.

Здійснено дискретизацію градаційних характеристик на початку діапазону чорного зображення і проведено їх аналіз для виявлення постеризації степенево-лінійного перетворення

З'ясовано, що в результаті імітаційного моделювання типових градаційних характеристик, вони є опуклими кривими і на початку діапазону мають малу крутизну, що усуває постеризацію на темних ділянках зображень. Встановлено, що на середньому діапазоні і у світах градаційні характеристики мають достатню крутість, тому не має втрат у світах. Початкові значення контрастної чутливості становлять дві одиниці, а їх характеристики є вгнутими кривими і прямують до кінцевих значень: 0.02; 0.41; 0.74.

Визначено в процесі дослідження, що градаційні дискретизовані характеристики мають початкові значення 1 рівень, а зорова система людини розрізняє (4 – 5) рівнів, тому у розробленому степенево-лінійному перетворенні відсутні умови виникнення постеризації на темних ділянках зображення, що є його перевагою.

В статті сформовано рекомендації щодо використання результатів проведених досліджень, зокрема типові градаційні характеристики степеневого лінійного перетворення, можуть бути застосовані на етапі обробки зображень у комп'ютерних видавничих системах.

Ключові слова: модель, степенево-лінійне перетворення, аналіз, градаційні характеристики, оптична густина, симулятор, контраст чутливості.

Постановка проблеми. Основні градаційні перетворення, які часто застосовуються для покращення якості зображення: лінійні, логарифмічні і степеневі [8, с. 1345; 9, с. 594; 10, с. 1104]. Для поліграфічного репродукування важливим є градаційна характеристика перетворення оригіналу, репродукції чи проміжного зображення. Зміна градаційної характеристики (коригування) здійснюється за допомогою програм комп'ютерної графіки, у яких застосовують різні методи та засоби коригування і інструменти, наприклад, Curves (Криві). У робочому вікні задають градаційну характеристику і спостерігають зображення

на моніторі. У більшості випадків оператор не має оригіналу, тому коригує зображення на власний розсуд. Відповідно якість зображення не може бути оптимальна. В програмах комп'ютерної графіки не передбачена програма для побудови градаційної характеристики цифрового зображення, що обмежує їх можливості [3, с. 180; 5, с. 480; 6, с. 291].

При приготуванні цифрових зображень до друкування найчастіше застосовують степеневе перетворення зображень. У доступних джерелах мало уваги приділяють аналізу властивостей степеневого перетворення, зокрема зв'язку параметрів:

градаційних характеристик, оптичною густиною, контрастом, растрівання тощо, а також наявність постеризації – появи помітних переходів на темних ділянках зображення, що погіршує якість зображення [5, с. 480; 6, с. 291; 9, с. 594].

Отже розроблення нового методу степеневолінійного перетворення світлих тонів і аналіз його властивостей є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Амплітудні характеристики багатьох пристроїв комп'ютерних видавничих систем, (сканери, фотокамери, монітори, проектори, друкарські системи) описують і аналізують за допомогою степеневого перетворення, а процедура коригування їх характеристик за традицією називають гама коригування [6, с. 291; 7, с. 885; 9, с. 594]. У загальному плані степеневе перетворення цифрових зображень описується степеневою функцією [6, с. 291; 10, с. 1104]

$$L = M \times L_0^r, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 1 \text{ та } 0 \leq L \leq 255 \quad (1)$$

де, L_0 – лінійна шкала (вхідне зображення), L – вихідне зображення після перетворення, M – масштаб, r – показник степені

Задаючи різні значення показника степені r , можна одержати множину градаційних характеристик. Значення показника $r < 1$ відповідає світлим тонам (розтяг зображення). Якщо степеневе перетворення використовується для коригування то необхідно вибрати потрібний показник степені r у виразі (1) У публікації [6, с. 291 7, с. 885; 4, с. 204] встановлено, що при показниках степені $r < 0,5$ та при $r > 1,5$ виникає постеризація – візуально помітні переходи від одного до іншого рівня сірого, що спотворює зображення та відповідно є основним недоліком степеневого перетворення і обмежує його властивості щодо інтервалів коригування. У зв'язку із викладеним актуальним є розроблення моделювання та здійснення аналізу степеневолінійного перетворення зображень світлих тонів.

Постановка завдання. Мета статті: Розробити модель степеневолінійного перетворення зображень світлих тонів, побудувати симулятор перетворення в пакеті MATLAB:Simulink за допомогою якого розрахувати і побудувати градаційні характеристики і провести аналіз їх властивостей.

Виклад основного матеріалу. У поліграфії при приготуванні зображень для друкування широко використовують класичне степеневе перетворення. Однак мало уваги приділено аналізу його властивості щодо зв'язку із класичними для поліграфії параметрами, градаційними перетво-

реннями, оптичною густиною, чутливістю, постеризацією, яка викликає візуально помітні переходи від одного до іншого рівня сірого на темних ділянках зображення, що спотворює зображення та обмежує його можливості [6, с. 291]. Для усунення постеризації і розширення функціональних можливостей степеневого перетворення розроблено степеневолінійне перетворення світлих тонів, яке здійснюється шляхом віднімання степеневого перетворення від лінійного, яке у загальному плані подано виразом

$$L = (2 L_0 - L_0^r) \times 255,$$

$$\text{якщо } 0 \leq L_0 \leq 1 \text{ та } 0 \leq L \leq 255 \quad (2)$$

де, L_0 – лінійна шкала, L – вихідне перетворене зображення, r – показник степені.

Задаючи різні значення показника степені, можна одержати множину перетворень. Для дослідження опрацювали три типові варіанти степеневолінійного перетворення зображень світлих тонів:

$$L_1 = (2 L_0 - L_0^r \times 2) \times 255, \quad (3)$$

$$L_2 = (2 L_0 - L_0^r \times 1,6) \times 255, \quad (4)$$

$$L_3 = (2 L_0 - L_0^r \times 1,3) \times 255,$$

$$\text{якщо } 0 \leq L_0 \leq 1 \text{ та } 0 \leq L_i \leq 255 \quad (5)$$

Визначимо оптичну густину степеневолінійного перетворення цифрових зображень на основі виразу

$$D = \log_{10}[255/(L+1)] \quad (6)$$

Для кількісної оцінки якості степеневолінійного перетворення визначили контрастну чутливість перетворення як похідну перетворення для різних варіантів тоновідтворення

$$C = \frac{dL}{dL_0} \quad (7)$$

Звернемо увагу на те, що цифрове зображення в комп'ютері зберігається у вигляді упорядкованого масиву чисел, а для спрощення аналізу застосовують аналогову модель зображення. Щоб виявити постеризацію степеневолінійного перетворення здійснили дискретизацією аналогових градаційних характеристик за допомогою блоку квантування *Quantizer*.

На основі викладеного і виразів степеневолінійного перетворення (3) – (5), оптичної густини (6) та контрастної чутливості (7) можна скласти програму, розрахувати і побудувати градаційні характеристики, оптичну густину та контрастну

чутливість. Для спрощення розв'язання поставленого завдання застосуємо об'єктно-орієнтоване програмування у пакеті *MATLAB:Simulink* для імітаційного моделювання. На основі викладеного і виразів (2) – (1) із операційних блоків бібліотеки побудовано структурну схему моделі симулятора степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень, яку подано на *рис. 1*.

Основними блоками моделі симулятора є функціональні блоки математичних функцій, які здійснюють необхідні розрахунки. Блок *Ramp* генерує лінійну шкалу L_0 , яка масштабується і паралельно подається на входи першого стовпця блоків математичних функцій $F_{cn} - F_{cn} 2$ у діалогових вікнах яких записана програма – вирази (3), (4), (5) для розрахунку нормованих градаційних характеристик, що подаються на входи блоків *Gain*, які їх масштабують (множать на 255), а на їх виході одержуються типові варіанти градаційних характеристик степеневно-перетворених зображень L_1, L_2, L_3 . Отримані вихідні величини паралельно подаються на входи мультиплексора M_{ux} і візуалізуються блоками *Scope*. Обчислені степеневі перетворення L паралельно подаються на входи другого стовпця блоків математичних функцій $F_{cn} 3 - F_{cn} 6$ у діалогових вікнах яких записана програма – вираз (5) для розрахунку оптичної густини, які візуалізуються блоком *Scope* і *Display*. Для визначення контрастної чутливості зображень вони подаються на блок похідної *Derivative* і візуалізується блоком *Scope2*. Для виявлення

постеризації степеневно-лінійного перетворення застосували блок квантування *Quantizer*.

В процесі дослідження налаштували блоки симулятора на відтворення зображень світлих тонів. У діалогових вікнах першого стовпця $F_{cn} - F_{cn} 3$ задали лінійну складову перетворення і показники степені $r_1 = 2,0; r_2 = 1,6; r_3 = 1,3$. Задали масштаби $M = 255$ блоків *Gain*.

Результати моделювання типових градаційних характеристик степеневно-лінійного перетворення подані на *рис. 2*.

Для порівняння на рисунку подана лінійна шкала L_0 . Традиційні характеристики є опуклими кривими і на початку діапазону мають малу крутизну, що усуває постеризацію на темних ділянках зображень. Перша зверху градаційна характеристика відповідає показнику степені $r = 2,0$, а нижня характеристика відповідає степені $r = 1,3$. На середньому діапазоні і у світах градаційні характеристики мають достатню крутість, тому немає втрат у світах. Порівнюючи градаційні характеристики степеневно-лінійного перетворення і традиційного степеневого перетворення [6, с. 291], робимо висновок, що на початку темного діапазону градаційні характеристики розробленого степеневно-лінійного перетворення є більш плавні і мають меншу крутизну, що усуває постеризацію у глибоких тонах, що є перевагою.

Результати моделювання оптичної густини степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень подані на *рис. 3*.

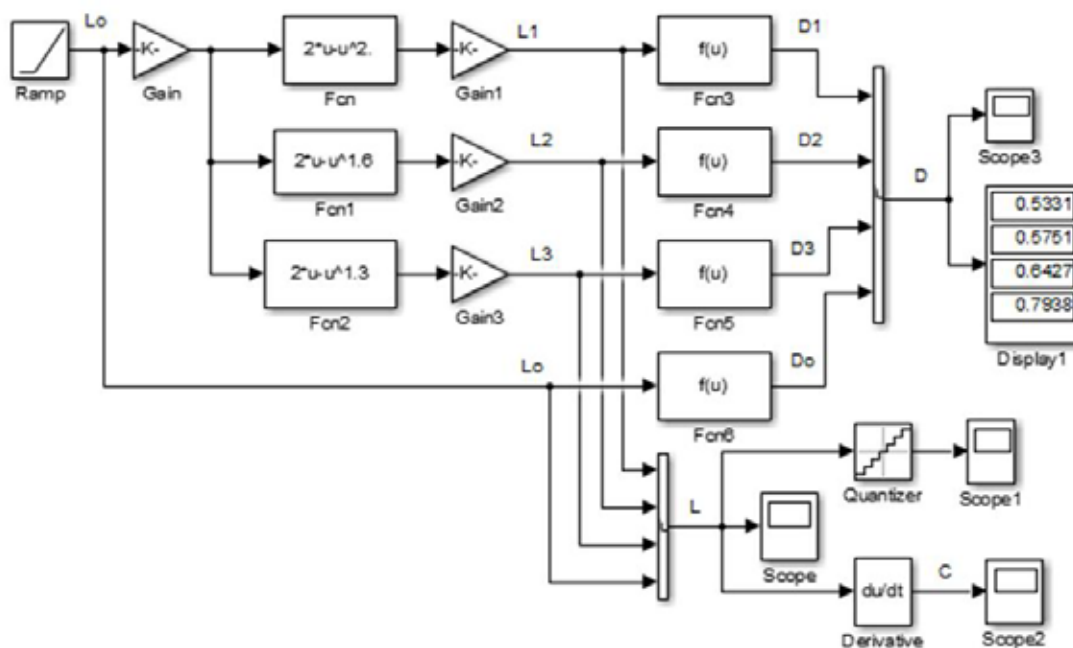


Рис. 1. Структурна схема моделі симулятора степеневно-лінійного перетворення зображень

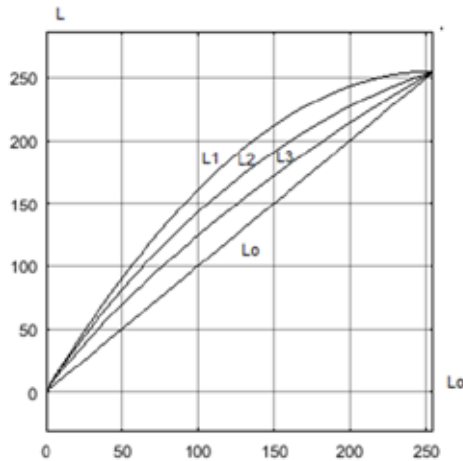


Рис. 2. Градаційні характеристики типових варіантів степеневого-лінійного перетворення зображень світлих тонів

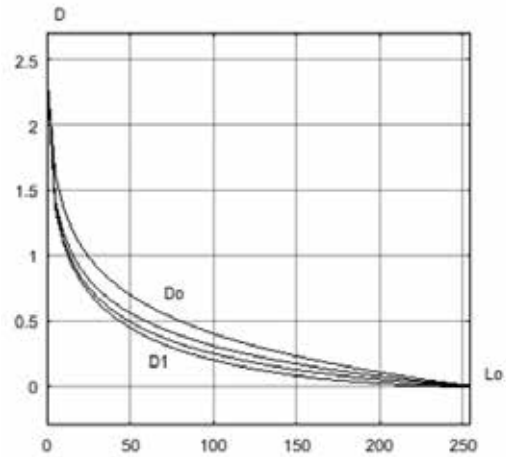


Рис. 3. Графіки оптичної густини степеневого-лінійного перетворення світлих зображень

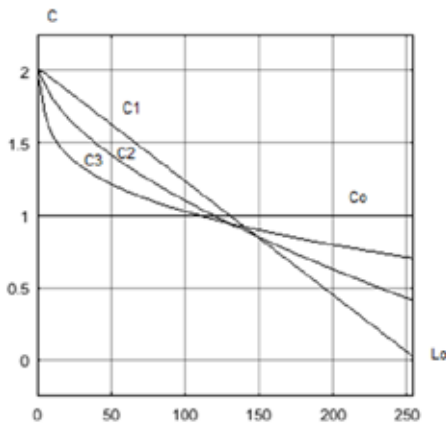


Рис. 4. Графіки контрастної чутливості степеневого-лінійного перетворення

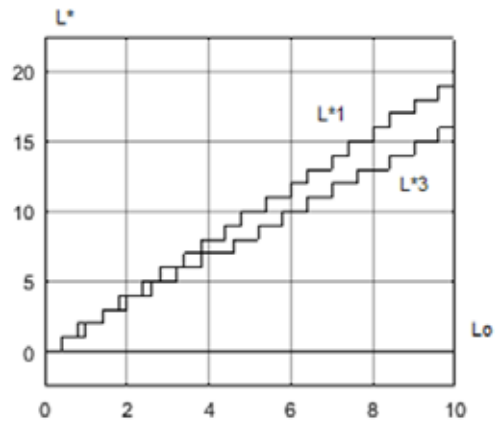


Рис. 5. Дискретизовані градаційні характеристики на початку діапазону чорного

Початкові значення оптичної густини становлять близько 2,5 одиниць оптичної густини і є вгнутими кривими. Вони швидко зменшуються на початку діапазону і при $L_0 = 50$ рівнів становить: $D_1 = 0,44$; $D_2 = 0,49$; $D_3 = 0,56$, $D_0 = 0,67$ одиниць прямуючи до нульового кінцевого значення. Зауважимо, що оптична густина лінійної шкали L_0 розташована зверху, тому її оптична густина переважає усі типові градаційні перетворення світлих зображень.

Результати моделювання контрастної чутливості степеневого-лінійного перетворення цифрових зображень світлих тонів подано на рис. 4

Початкові значення контрастної чутливості становлять дві одиниці. Характеристики чутливості є вгнутими кривими, пересікають одиничну лінію і прямують до кінцевих значень: $C_1 = 0,02$; $C_2 = 0,41$; $C = 0,74$. Зауважимо, що контрастна чутливість лінійної шкали дорівнює одиниці на усьому інтервалі тонопередачі.

Отже, світлі тони підвищують контрастну чутливість степеневого-лінійного перетворення, яке кількісно і якісно оцінює зображення щодо сприйняття тонів зоровою системою людини, що є перевагою розробленого степеневого-лінійного перетворення.

Щоб кількісно оцінити крутизну градаційних кривих степеневого-лінійного перетворення і виявити умови відсутності постеризації на початку діапазону чорного на рис. 5 подані дискретизовані градаційні характеристики в крупному плані.

Градаційні дискретизовані характеристики є ступеневими кривими. Перші ступені дорівнюють нулеві. Наступні ступені становлять: $L_1 = 1, 2, 3, 4, \dots, 18$ рівнів, $L_3 = 1, 2, 3, 4, \dots, 15$ рівнів. Оскільки дискретизовані характеристики мають початкове зміщення 1 рівень, а зорова система людини помічає початкове зміщення (4 – 5) рівнів, то у розроблених типових варіантах степеневого-лінійного перетворення відсутні умови

для виникнення постеризації на темних ділянках зображення, що є його перевагою.

На основі проведених досліджень і результатів моделювання встановлено, що розроблене степеневе-лінійне перетворення світлих тонів усуває постеризацію на темних ділянках зображення, підвищує контрастну чутливість зображень і сприйняття тону зоровою системою людини, що є його перевагою.

Висновки. Розроблено математичну модель степеневе-лінійного перетворення світлих тонів зображення на основі введення лінійної складової, що дало можливість зменшити крутизну градаційних характеристик на початку темного діапазону тонів. Опрацьовано три типові варіанти степеневе-лінійного перетворення світлих тонів зображення, визначили їх оптичну густину та контрастну чутливість, які кількісно оцінюють степеневе-лінійне перетворення.

Побудовано структурну схему моделі симулятора степеневе-лінійного перетворення в пакеті *MATLAB:Simulink*, яка дає можливість розраховувати і будувати градаційні характеристики, оптичну густину і контрастну чутливість та аналізувати їх властивості. Доведено, що при показниках степені $r = 2,0; 1,6; 1,3$ сформовані типові варіанти градаційних характеристик є опуклими кривими і на початку діапазону мають малу кру-

тизну, що усуває постеризацію зображень у глибоких тінях. Встановлено, що початкові значення оптичних густин мають значення 2,5 одиниць, які швидко зменшуються і при $L_0 = 50$ рівнів становлять $D = 0,44; 0,49; 0,56; 0,67$ одиниць і поступово прямують до нульового значення, що відповідає світлим тонам зображення.

Початкові значення контрастної чутливості становлять дві одиниці, а їх характеристики є вгнутими кривими, пересікають одиничну лінію і прямують до кінцевих значень: $C = 0,02; 0,41; 0,74$. Отже, світлі тони підвищують контрастну чутливість степеневе-лінійного перетворення, яке кількісно і якісно оцінює зображення щодо сприйняття тонів зоровою системою людини.

Шляхом дискретизації градаційних характеристик в крупному плані встановлено, що значення перших ступенів дорівнює нулеві, а наступні один рівень, тому зорова система не помічає одиничних ступенів, відповідно у розробленому степеневе-лінійному перетворенні відсутні умови для виникнення постеризації на темних ділянках, що є його перевагою.

Результати проведених досліджень, зокрема типові градаційні характеристики степеневе-лінійного перетворення можна застосовувати на стадії обробки зображень у комп'ютерних видавничих системах.

Список літератури:

1. Барановський І.В., Яхимович Ю.П. Поліграфічна переробка образотворчої інформації: навч. посібн. Львів – Київ: ІЗМН, 1998. 400 с.
2. Воробель Р. А. Логарифмічна обробка зображень: монографія. Київ. Науково-виробниче підприємство «Видавництво «Наукова думка» НАН України». 2012, 232 с.
3. Гавриш Б.М., Дурняк Б.В., Тимченко О.В., Ющик О.В. Відтворення зображень растровими скануючими пристроями: навч. посібн. Львів: УАД, 2016. 180 с.
4. Лотошунська Н.Д., Іванів О.В. Теорія кольору та кольороутворення: навч. посібн. Львів. НУ «Львівська політехніка», 2014, 204 с.
5. Луцків М.М. Цифрові технології друкарства: монографія. Львів: УАД, 2012. 480 с.
6. Матринюк В.Т. Основи додрукарської підготовки образотворчої інформації: підручник. Кн.2 – К.: Університет «Україна» 2009, 291 с.
7. Buczynski L. Skanery i skanowanie. Warszawa: Wydawnictwo MIKOMA, 2005, 885 p.
8. Malina W., Ablameyko S., Pawlok W. Podstawy Cyfrowego Pretwarzania Obrazok. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2002. 1345.
9. Donnie O'Quinn. Print Publishing a Hayden Shop Manual. 201 West 103 rd. Street, Indiana-polis, Indiana. 2003-594 p.
10. Rafael C. Gonzales, Richard E. Woods. Digital image processing: international Version 3rd Edition. Inc publishing as Prentice Hall. Copyright, 2008-1104 p.

Kavyn S.Ya. MODELING OF STEP-LINEAR TRANSFORMATION OF LIGHT IMAGES

The article is dedicated to the development of a model for step-linear image transformation based on the analysis of the properties of classical parameters in pre-press processes of printing (such as gradation characteristics, optical density, and contrast sensitivity) in order to solve the problem of improving the visual quality of images.

The essence of the phenomenon of posterization is revealed – visually noticeable transitions from one gray level to another in dark areas of the image, which distorts the image.

The article develops and presents a mathematical model of the step-linear transformation of digital images of light tones by combining power-law and linear transformations. Three typical variants of step-linear image transformations are worked out and presented. Gradation characteristics, optical density, and contrast sensitivity, which quantitatively assess the perception of the image by the human visual system, are determined.

The article also develops and presents a model of a three-channel simulator for step-linear transformation of digital images in the MATLAB: Simulink package, which allows the calculation and construction of gradation characteristics of typical transformations, optical density, and contrast sensitivity.

The gradation characteristics were discretized at the beginning of the black image range, and their analysis was carried out to detect posterization in the step-linear transformation. It was found that, as a result of simulation modeling of typical gradation characteristics, they are convex curves, and at the beginning of the range, they have a low steepness, which eliminates posterization in the dark areas of the images. It was established that in the middle and high ranges, the gradation characteristics have sufficient steepness, which ensures no loss of detail in lighter areas.

The initial values of contrast sensitivity are two units, and their characteristics are concave curves, approaching the final values: 0.02, 0.41, and 0.74.

The study determined that the discretized gradation characteristics have initial values of 1 level, and the human visual system distinguishes (4–5) levels. Therefore, the developed step-linear transformation does not create conditions for the occurrence of posterization in dark areas of the image, which is an advantage.

The article provides recommendations for the use of the results of the research. In particular, typical gradation characteristics of step-linear transformation can be applied at the image processing stage in computer publishing systems.

Key words: *model, step-linear transformation, analysis, gradation characteristics, optical density, simulator, contrast sensitivity.*