

УДК 655.226

НИЗЬКОЧАСТОТНЕ ФІЛЬТРУВАННЯ СТЕПЕНЕВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ СВІТЛИХ ТОНІВ ЗОБРАЖЕНЬ

А. В. Янчинський

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

Розроблено математичну модель нормованого степеневого перетворення із низькочастотним фільтром цифрових зображень, поданого кількістю рівнів сірого у діапазоні $[0, 255]$, у межах яких знаходяться сірі тони. Для дослідження задано три типових варіанти степеневого гама-перетворення, тон яких було задано для показника степеня $r_1 = 0,3$; $r_2 = 0,45$; $r_3 = 0,6$. Запропоновано низькочастотний фільтр, на вхід якого подається степеневе перетворення зображення. Фільтр описано оператором передачі першого порядку із сталою 5 рівнів. Для оцінки фільтрованих цифрових зображень визначили різниці фільтрованих і вхідних зображень.

Для розв'язання поставленої задачі застосовано об'єктно-орієнтоване програмування в пакеті MATLAB: Simulink, розроблено структурну схему моделі симулятора типових варіантів фільтрованого степеневого перетворення зображень, який паралельно розраховує і будує градаційні вхідні характеристики L_1 , L_2 , L_3 степеневого перетворення і фільтрованих Lr_1 , Lr_2 , Lr_3 та їх різниці та здійснює візуалізацію результатів моделювання. Подані результати моделювання градаційних характеристик степеневого перетворення зображень, які є випуклими кривими, що на початку діапазону мають 50, 40, 20 рівнів, що викликає постеризацію на темних ділянках зображень. Натомість градаційні характеристики фільтрованих зображень на початку діапазону мають значно меншу крутизну, що усуває постеризацію на темних ділянках зображення і не впливає на тоновідтворення зображень у світах. Подані графіки різниць фільтрованого і степеневого перетворення зображень, які на початку діапазону становлять 43, 22, 13 рівнів, після чого швидко зменшуються, а на середніх тонах відхилення становить 1–2 %, тому фільтр практично не впливає на тонопередачі зображень у середньому діапазоні і у світах. Встановлено, що двократне збільшення сталої фільтра не критичне для фільтрування степеневого перетворення цифрових зображень. Запропонований низькочастотний фільтр є простим і ефективним методом покращення якості степеневого перетворення цифрових зображень. Результати роботи та імітаційного моделювання фільтрування степеневого перетворення зображень можуть використовувати оператори комп'ютерних видавничих систем для вибору оптимальних градаційних характеристик репродукції під час підготовки зображень до друку.

Ключові слова: моделювання, низькочастотний фільтр, степеневе перетворення, цифрові зображення, симулятор, градаційні характеристики, параметри, якість.

Постановка проблеми. Під час підготовки зображень до друку застосовують різні методи цифрової обробки зображень, які досить часто мають низьку якість за наявності різних завад і спотворень [1, 2, 6]. У комп'ютерно-видавничих системах широко застосовують графічні редактори типу Adobe Photoshop та інші, у яких коригування градаційної характеристики у більшості основане на степеневому гама-перетворенні, яке базується на розтягу діапазону вхідних значень рівнів сірого зображення. За допомогою зміни показника степеня формулюють градаційну характеристику вихідного зображення, що сприяє поліпшенню якості зображення [4, 5, 6, 8]. Однак на початку діапазону темних тонів при показниках степеня $0,3 \leq r \leq 0,5$ градаційна характеристика скоригованого зображення має величезну крутизну, відбувається розтягнення діапазону рівнів сірого до максимального значення, які сягають десятків рівнів, внаслідок чого виникає постеризація — поява помітних смуг на чорних ділянках, що спотворює зображення і обмежує його можливості щодо коригування темних тонів зображень.

Оскільки основне степеневе гама-перетворення має обмеження щодо появи постеризації, то виникає проблема пошуку певних методів і підходів перетворення зображення менш критичних до відтворення темних тонів. З огляду на викладене, запропоновано низькочастотну фільтрацію степеневого гама-перетворення, яка простим способом формує потрібні градаційні характеристики. Тому актуальним завдання є визначення параметрів фільтра і аналіз властивостей перетворених цифрових зображень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У багатьох галузях науки і техніки широко використовуються різноманітні методи обробки зображень залежно від мети і задач, які визначають вимоги до неї. Обробка і перетворення зображень в поліграфії має свої особливості і зумовлена відтворенням друкованих зображень, яке сприймає зорова система людини. Для поліпшення якості зображень у поліграфії застосовують методи обробки зображень у просторовій області, у яких виділимо такі основні типи: методи розтягу, гистограмні методи, різницеві методи та методи перетворення контрасту [2, 6, 8, 9]. Основне перетворення, яке базується на розтягу діапазону вхідних значень рівнів сірого, основане на степеневому гама-перетворенні, яке здійснюється за допомогою зміни показника степеня. При такому коригуванні темних тонів виникає постеризація, що спотворює зображення і обмежує його можливості. У доступних джерелах мало уваги приділено аналізу степеневого перетворення [3, 4, 7, 9].

У публікації [8] запропоновано нову математичну модель синусоїдального перетворення зображень, яка дає змогу змінювати частоти і амплітуди, формувати градаційні характеристики, які відтворюють деталі темних тонів зображень без постеризації і мають менші втрати у світах порівняно із традиційним степеневим гама-перетворенням.

Мета статті — розробити фільтр низьких частот, що дає можливість коригувати градаційні характеристики зображень, визначити його параметри та здійснити імітаційне моделювання і проаналізувати його властивості.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо степеневе перетворення цифрових зображень світлих тонів, прийнявши такі основні положення:

приймаємо аналоговий варіант цифрового зображення, вхідне цифрове зображення є лінійною шкалою, яка містить 256 рівнів сірого, у якому нульовий рівень відповідає чорному тону, а 255 рівнів — білому, в межах яких знаходяться сірі тони. Для дослідження задали три типові варіанти степеневого перетворення тонів:

$$L_1 = \frac{1}{255} \times L_0^{0,3} \times 255, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 1 \text{ та } 0 \leq L_1 \leq 255, \quad (1)$$

$$L_2 = \frac{1}{255} \times L_0^{0,45} \times 255, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 1 \text{ та } 0 \leq L_2 \leq 255, \quad (2)$$

$$L_3 = \frac{1}{255} \times L_0^{0,6} \times 255, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 1 \text{ та } 0 \leq L_3 \leq 255, \quad (3)$$

де L_0 — лінійна растрова шкала, яка знаходиться в межах $[0, 1]$; L_i — типові варіанти степеневого перетворення цифрових зображень, які знаходяться в межах $[0, 255]$ рівнів.

Запропоновано низькочастотний фільтр, на вхід якого подається степеневе перетворення зображення, який описується оператором передачі, його вихід визначається виразом:

$$L_{ri} = \frac{L_i}{5p + 1}, \quad (4)$$

де L_{ri} — вихід фільтра, тобто фільтроване зображення; p — оператор диференціювання; 5 — стала фільтра.

Для оцінки фільтрованого цифрового зображення визначили їх різницю:

$$E_i = L_{ri} - L_i. \quad (5)$$

На основі викладеного і виразів (1) – (5) можна розрахувати і побудувати градаційні характеристики типових варіантів фільтрованих зображень, їх різниць та проаналізувати їх властивості. Для спрощення розв’язання поставлених завдань застосували імітаційне програмування у пакеті MATLAB:Simulink, розробили структурну схему моделі симулятора типових варіантів фільтрованого степеневого перетворення цифрових зображень, яка подана на рис. 1.

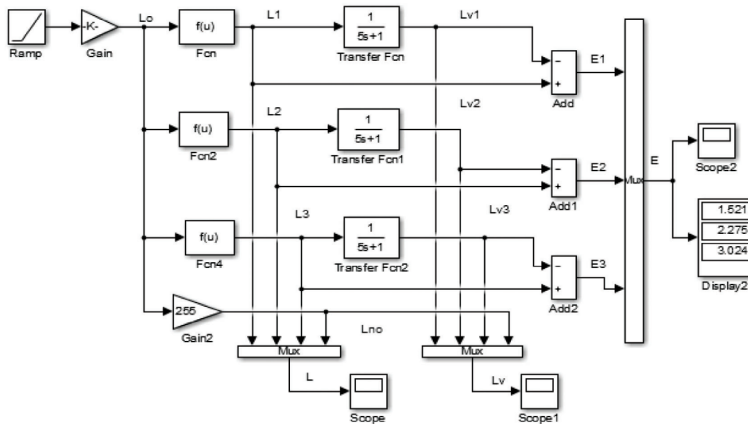


Рис. 1. Структурна схема моделі симулятора типових варіантів фільтрованого степеневого перетворення зображень

Блок Ramp генерує лінійну шкалу, яка масштабується блоком Gain у нормовану лінійну шкалу, що знаходиться в межах $[0 \leq L_0 \leq 1]$, і паралельно подає її на входи операційних блоків математичних функцій Fcn, Fcn2, Fcn4. У діалогових вікнах записана програма обрахунку виразів (1) – (3) для визначення трьох типових варіантів степеневого перетворення цифрових зображень L1, L2, L3, які знаходяться в межах $[0 \dots 255]$ рівнів і подаються на входи операційних блоків Transfer Fcn, що описуються оператором передачі (4), а на їх виходах одержуються фільтровані степеневі перетворення зображень Lr1, Lr2, Lr3, які візуалізуються блоками Score. Для визначення різниць степеневих і фільтрованих зображень застосовано блоки сумування Add, на виході яких одержується різниця E1, E2, E3, яка подається на вхід мультіплектора і візуалізується блоками Score і Display.

Налаштували симулятор на типові варіанти степеневого перетворення, задавши показники степеня $r_1 = 0,3$; $r_2 = 0,45$; $r_3 = 0,6$. В інтерактивному режимі роботи підібрали сталу фільтра — 5 рівнів, яка зсуває постеризацію зображення. Результати імітаційного моделювання градаційних характеристик степеневого перетворення цифрових зображень подані на рис. 2.

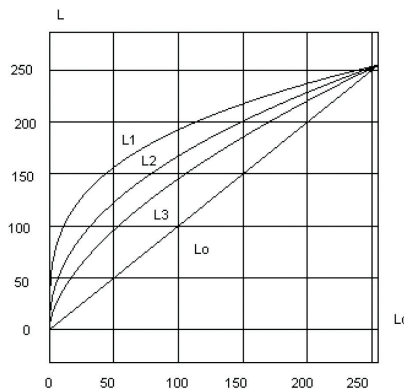


Рис. 2. Градаційні характеристики степеневого перетворення зображень

Для порівняння на рисунку подана лінійна тестова шкала. Градаційні характеристики є випуклими кривими. Звернемо увагу на те, що на початку діапазону характеристики мають велику крутизну. Перша градаційна характеристика починається не з нульового рівня, а із 50 рівнів, що спричиняє постеризацію темних ділянок зображення і обмежує можливості щодо якісного відтворення зображень. Результати моделювання типових градаційних характеристик після фільтрування степеневого перетворення подані на рис. 3.

Градаційні характеристики на початку діапазону мають значно меншу крутизну, порівняно із характеристиками на рис. 2, що усуває постеризацію на темних ділянках зображення. Зауважимо, що введення низькочастотного фільтра не впливає на відтворення зображень у світах. Отже, запропонований низькочастотний фільтр є простим і ефективним засобом покращення степеневого перетворення цифрових зображень.

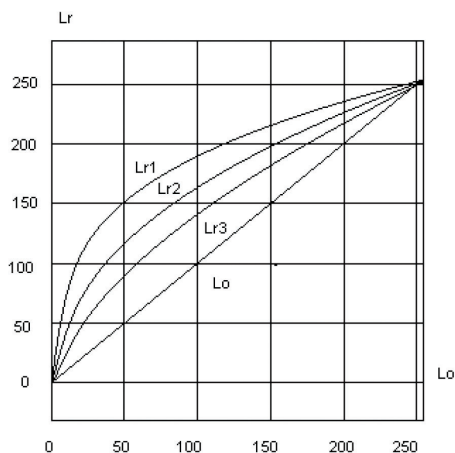


Рис. 3. Градаційні характеристики степеневого перетворення зображень після фільтрування

Для оцінки впливу фільтрування на властивості фільтрованого зображення визначили їх різницю (5). Результати моделювання різниць зображень подані на рис. 4. На початку діапазону різниці швидко збільшуються і досягають максимальних значень $E = 43; 22; 13$ рівнів, після чого поволі зменшуються і в околі $L_0 = 35$ рівнів пересікаються на околі $E = 8$ рівнів, після чого плавно зменшуються і при $L_0 = 100$ рівнів їх значення становлять $E = 3,1; 4,6; 1$ рівнів, що становить 1–2 %. Отже, фільтрування зображень відбувається тільки на початку діапазону в межах $[0 \dots 35]$ рівнів, тому воно не впливає на середній діапазон і у світах.

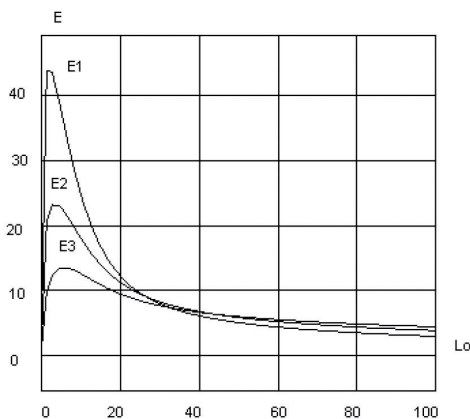


Рис. 4. Графіки різниць фільтрованого і степеневого зображень

Для оцінки впливу параметрів фільтра на властивості фільтрованого зображення удвічі збільшили сталу фільтра до 10 рівнів. Результати моделювання різниць зображень при зміні параметрів фільтра подані на рис. 5.

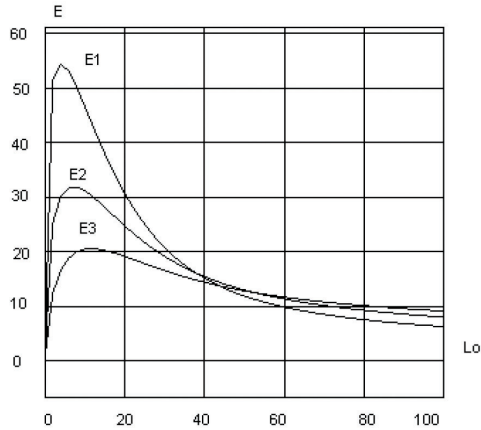


Рис. 5. Графік різниць зображень при зміні параметрів фільтра

Порівнюючи цей графік із рис. 4, робимо висновок, що вони аналогічні. Двократне збільшення сталої фільтра розтягує різниці вгору. Максимальні значення різниць становлять $E = 54, 32, 20$ рівнів. Отже, двократне збільшення сталої фільтра не є критичним для фільтрування степеневого перетворення цифрових зображень. Таким чином, запропонований фільтр є простим і ефективним методом покращення якості степеневого перетворення цифрових зображень. Результати проведених досліджень можна застосувати у комп'ютерних видавничих системах для коригування зображень під час їх підготовки до друку.

Висновки. Розроблено математичну модель степеневого гама-перетворення із низькочастотним фільтром першого порядку із сталою 5 рівнів, який розтягує діапазон вихідного зображення, що забезпечує кращі градаційні характеристики і усуває постеризацію на темних ділянках зображення. Задали три типові варіанти степеневого перетворення світлих тонів і показники степеня $r = 0,3; 0,45; 0,6$. На основі викладеного розроблено структурну схему моделі симулятора типових варіантів фільтрованого степеневого перетворення в пакеті MATLAB:Simulink, розраховано і побудовано градаційні характеристики вхідних і фільтрованих зображень та їх різниць.

За результатами імітаційного моделювання встановлено, що градаційні характеристики степеневого перетворення є випуклими кривими, які на початку діапазону мають 50, 40, 20 рівнів, що спричиняє постеризацію на темних ділянках зображення, що є недоліком. Доведено, що градаційні характеристики фільтрованих зображень на початку діапазону мають значно меншу крутизну, що усуває постеризацію на темних ділянках зображень і не впливає на тоновідтворення зображень у світах. Отже, низькочастотний фільтр добре розтягує чорний діапазон зображень, порівняно із традиційним степеневим гама-перетворенням. Встановлено, що при двократному збільшенні сталої фільтра відхилення градаційної характеристики становить 1–2 %, тому не впливає на середні тони і світи. Запропонований низькочастотний фільтр є простим і ефективним методом покращення якості степеневого перетворення цифрових зображень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський І. В., Яхимович Ю. Я. Поліграфічна переробка образотворчої інформації : навч. посіб. Київ-Львів : ІЗМН, 1998. 420 с.
2. Воробель Р. А. Логарифмічна обробка зображень. 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 пристроями : навч. посіб. Львів : УАД, 2016. 180 с.
4. Лотошинська Н. Д., Івахів О. В. Теорія кольору та кольоротворення : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. 204 с.
5. Луцків М. М. Цифрові технології друкарства : монографія. Львів : УАД, 2016. 488 с.
6. Мартинюк В. Т. Основи додрукарської підготовки образотворчої інформації : К. 2. Основи опрацювання образотворчої інформації : підруч. Київ : Університет «Україна», 2009. 292 с.
7. Ющик О. В. Основи цифрової обробки зображень : навч. посіб. Львів : УАД, 2009. 180 с.
8. Panak J., Ceppan M., Avonka V., Karpynski L., Kovdos P., Mikula M., Jakucewiz S. Poligrafia: procesy i technika. COBRPE. Warszawa, 2009. 278 s.
9. Gonzales C., Woods E. Digital image Processing: International Version 3rd Edition, Inc publishing as Prentice Hall. Copyright, 2008. 1104 p.

REFERENCES

1. Baranovskyi, I. V., & Yakhymovych, Yu. Ya. (1998). Polihrafichna pererobka obrazotvorchoi informatsii. Kyiv-Lviv : IZMN (in Ukrainian).
2. Vorobel, R. A. (2012). Loharyfmichna obrobka zobrazhen. Kyiv : Naukovo-vyrobnyche pidpriemstvo «Vydavnytstvo «Naukova dumka» NAN Ukrainy» (in Ukrainian).
3. Havrysh, B. M., Durniak, B. V., Tymchenko, O. V., & Yushchuk, O. V. (2016). Vidtvorennia zobrazhen rastrovymy prystroiamy. Lviv : UAD (in Ukrainian).
4. Lotoshynska, N. D., & Ivakhiv, O. V. (2014). Teoriia koloru ta kolorotvorennia. Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki (in Ukrainian).
5. Lutskevych, M. M. (2016). Tsyfrovi tekhnolohii drukarstva. Lviv : UAD (in Ukrainian).
6. Martyniuk, V. T. (2009). Osnovy dodrukarskoi pidhotovky obrazotvorchoi informatsii : K. 2. Osnovy opratsiuvannia obrazotvorchoi informatsii. Kyiv : Universytet «Ukraina» (in Ukrainian).
7. Yushchuk, O. V. (2009). Osnovy tsyfrovoi obrobky zobrazhen. Lviv : UAD (in Ukrainian).
8. Panak, J., Ceppan, M., Avonka, V., Karpynski, L., Kovdos, P., Mikula, M., & Jakucewiz, S. (2009). Poligrafia: procesy i technika. COBRPE. Warszawa (in Polish).
9. Gonzales, C., & Woods, E. (2008). Digital image Processing: International Version 3rd Edition, Inc publishing as Prentice Hall. Copyright (in English).

doi: 10.32403/1998-6912-2024-1-68-145-152

**LOW-PASS FILTERING OF POWER TRANSFORMATION
OF LIGHT TONES OF IMAGES**

A. V. Yanchinskyi

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
andrii.yanchynskyi@gmail.com*

A mathematical model of the normalized power transformation with a low-pass filter of digital images, given by the number of gray levels in the range [0, 255], within which gray tones are found, is developed. For the study, three typical variants of the power-gamma transformation are set, the tone of which is set by the power indicator $r_1 = 0.3$; $r_2 = 0.45$; $r_3 = 0.6$. A low-pass filter is proposed, the input of which is fed with a power transformation of the image. The filter is described by a first-order transfer operator with a constant of 5 levels. To evaluate the filtered digital images, the differences between the filtered and input images are determined.

To solve the problem, object-oriented programming in the MATLAB package: Simulink is used, a structural diagram of the simulator model of typical variants of the filtered power transformation of images is developed, which simultaneously calculates and builds the gradation input characteristics L_1, L_2, L_3 of the power transformation and filter L_{r1}, L_{r2}, L_{r3} and their differences and visualizes the simulation results. The results of modeling the gradation characteristics of the power transformation of images, which are convex curves with 50, 40, 20 levels at the beginning of the range, respectively, which causes posterization in the dark areas of the images, are presented. Instead, the gradation characteristics of the filtered images at the beginning of the range have a much lower slope, which eliminates posterization in the dark areas of the image and does not affect the tonal reproduction of the images in the worlds. The graphs of the differences between the filtered and the power transformation of the images are presented, which at the beginning of the range are 43, 22, 13 levels, after which they quickly decrease, and at the middle tones the deviation is 1(2%), so the filter practically does not affect the tonal transmission of the images in the middle range and in It is found that the two-fold increase of the filter is not critical for the filtering of digital images systems for selecting the optimal gradation characteristics of reproduction during the preparation of images for printing.

Keywords: *simulation, low-pass filter, power transformation, digital images, simulator, gradation characteristics, parameters, quality.*

Стаття надійшла до редакції 18.03.2024.

Received 18.03.2024.