

УДК 681.142

*М. М. Луцків***МЕТОДИ ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ:
НЕЛІНІЙНІ ПІДХОДИ**

Викладено метод перетворення оцифрованого зображення на основі нелінійних арифметичних дій на пікселях зображення.

The method of transformation of digitized image is laid out on the basis of nonlinear arithmetic actions on the pixels image.

Наприкінці ХХ ст. швидкий розвиток електроніки, комп'ютерної та лазерної техніки, що зумовило значний поступ та впровадження в різні галузі інформаційних технологій, зокрема, у поліграфію цифрових технологій. Сьогодні в поліграфії паралельно існують дві технології підготовки до друку та друкування: класична (традиційна) та цифрова [4, 5, 6]. Увесь технологічний процес підготовки до друку, процес перетворення текстової і графічної інформації здійснюються на підставі інформаційних технологій із застосуванням комп'ютерної техніки, а виготовлення друкарської форми – на устаткуванні, що безпосередньо керується комп'ютерами. Побудовано різні системи виготовлення друкарських форм для різних видів друку та створено машини цифрового друку, які широко впроваджуються в поліграфії [4, 5].

Виникла виробнича проблема освоєння сучасних цифрових технологій і систем, що вимагають істотних змін змісту й рівня підготовки фахівців-поліграфістів. Є труднощі, пов'язані з освоєнням нових цифрових технологій і систем, не вистачає знань, зокрема, у галузі перетворення зображень, на підставі яких ґрунтуються інформаційні технології друкарства. Сучасна підготовка текстової і графічної інформації до друкування і саме виготовлення друкарських форм здійснюються на основі інформаційних технологій [2, 6]. Аналогічна ситуація і з системами цифрового друку [4]. Поліграфічну інформацію маємо у вигляді видимого зображення, тому однією з ключових проблем підготовки до друкування та цифрового друку є методи перетворення та аналізу цифрових зображень. Знання методів і засобів перетворення та відтворення зображень є важливим чинником ефективного розвитку й впровадження інформаційних технологій.

Термін «інформація», який має досить широке тлумачення і до певної міри є філософською категорією, останнім часом став досить модним у поліграфії. Це привело до появи чималої кількості термінів, пов'язаних з опрацюванням інформації в комп'ютерних видавничих системах, виготовленням друкарських форм і цифрового друку. Так, наприклад, у поліграфії почали застосовувати термін «зображення», що дуже популярний в інших суміжних галузях [1, 3, 7]. Зображення, ця своєрідна форма даних, є однією з форм інформації [1, 2, 7]. Людина до 90% інформації одержує і приймає у вигляді зображення.

Під перетворенням зображень розуміють застосування різних послідовних перетворень, які змінюють їх вигляд та якість з точки зору кращого огляду, сприйняття, аналізу і розпізнавання, а також перетворення до зручного вигляду й до подальшого застосування. Наприклад, для виготовлення фотоформ і друкарських форм у системах CtF та CtP, потрібних для друкування. Специфічне перетворення поліграфічної текстової і графічної інформації (зображення) не завжди дозволяє безпосередньо застосовувати методи й засоби класичної теорії розпізнавання зображень і цифрового перетворення сигналів [1, 3, 7]. Практичні задачі перетворення зображень у поліграфії не піддаються повній формалізації, а розв'язання по суті має евристичний характер. Цим пояснюється наявність різних алгоритмів, методів та способів перетворення зображень у конкретних умовах для конкретних задач [2]. Для багатьох спеціалістів поліграфії та суміжних галузей актуальним є коротке і просте подання основних задач перетворення зображень, яке б дало змогу розширити знання в цій галузі й свідомо застосовувати їх у практичній діяльності, успішно освоювати нові технології та устаткування. В статті автора [5] коротко викладено для непрофесіоналів прості методи математичного описання зображень, лінійні пере-

творення зображень на пікселях, а також нелінійні перетворення зображень, які широко використовуються в поліграфії для поліпшення якості зображень поліграфічних оригіналів.

Перетворення аналогового зображення в цифрове

Як уже відзначалося, у поліграфії й інших галузях для опрацювання і перетворення зображень застосовують комп'ютери. Для введення в комп'ютер зображення мусить бути перетворене зі звичайного (аналогового), яке сприймає око людини, у цифрове. Це здійснюється шляхом дискретизації і квантування (оцифрування) зображення за допомогою сканерів, цифрових апаратів та інших пристроїв [2, 6, 8]. Дискретизація зображення виконується шляхом двомірного квантування, сутність якого викладено в [5]. У поліграфії найчастіше застосовують перетворення чорно-білих і тонових зображень з багатьма відтінками. Основними параметрами зображень можуть бути яскравість, оптична густина, контраст та інші [2, 6]. Описати такі зображення можна, використовуючи двомірну матрицю зображень $M=[a(x,y)]$, де x, y – координати елемента на зображенні. Елемент матриці a визначає той чи інший параметр зображення [1, 5]. Для прикладу в подальшому викладі приймаємо, що зображення описуємо яскравістю. Тоді матрицю зображень подамо як $V=[b(x,y)]$, де b – яскравість у заданому місці на дискретизованій площині. Вважаємо, що значення яскравості є неперервним і знаходиться в межах $0 < b < b_{\max}$, де 0 відповідає чорним точкам, b_{\max} – білим, а інші значення b – різним відтінкам сірого. Координати вузлів дискретизації визначені для дискретних значень $x = n1$ та $y = m1$, де m і n – послідовність цілих чисел $0, 1, 2, 3, 4, \dots; 1$ – крок квантування вузлів по осях x та y .

Процес квантування зображення подібний до растрівання зображення, що широко застосовується в поліграфії. Зауважимо, що вихідне зображення складається з окремих елементів, так званих пікселів, а кожний піксель описується елементом матриці яскравості $b(x,y)$. Кількість рівнів яскравості при квантуванні зображення вимірюється в двійковій системі числення. Найчастіше застосовують 1 байт. Тоді зображення може одержати $2^8=256$ різних рівнів значень яскравості, які після перетворення (оцифрування) можна записати у вигляді цілих чисел. Значення 0 означає, що піксель чорний, 255 – білий.

У поліграфії є великий клас зображень текстової інформації у вигляді букв алфавіту, цифр, знаків і т. п., які мають два рівні – 0 або 1 (бінарне зображення). У бінарних зображеннях дещо інша інтерпретація пікселя. Прийнято, що ці значення не відповідають яскравості, а тільки означають приналежність пікселя до образів, що знаходяться на зображенні. Рівень 1 свідчить, що цей піксель стосується даного об'єкта (наприклад, букви), а 0 – відповідає тлу.

Нелінійні операції на пікселях

Залежно від цілей перетворення зображень широко використовують різні математичні операції на пікселях, що описують вихідне зображення. Лінійні операції на пікселях зображень висвітлено в праці [5]. Нелінійні перетворення зображень забезпечують повніше та якісніше перетворення зображення. При цьому застосовують різні нелінійні функції. Зауважимо, усі нелінійні операції будемо виконувати на окремих пікселях без урахування ефектів впливу суміжних пікселів (ефекту сусідства) [1, 7].

Нижче подано приклади нелінійних операцій, які виконуються на пікселях оцифрованого вхідного зображення за допомогою функції перетворення $F[\bullet]$, що повинна бути відповідно змасштабована, щоби перетворене значення зображення знаходилося в межах $[0-255]$. Якщо цього не робити, то окремі перетворені значення будуть обмежуватися на рівні 255 . Інколи таке обмеження спеціально вводиться для поліпшення окремих показників якості зображення, наприклад, для одержання максимальної яскравості зображення світлих елементів.

Піднесення до степеня

Нелінійна операція піднесення до степеня полягає в тому, що значення яскравості b елемента зображення підносять до степеня α . При цьому яскравість елемента перетвореного зображення зміщується в сторону тіней або в світлу сторону залежно від показника степеня α . Якщо показник степеня $\alpha > 1$, то яскравість елемента зображення зміщується в сторону тіней. Натомість, коли степінь $\alpha < 1$, то яскравість елемента зміщується в світлі тони. Операцію піднесення до степеня на пікселях можна записати як

$$b^*(x, y) = b(x, y)^\alpha, \quad (1)$$

де $b^*(x, y)$ – значення яскравості пікселя в точці (x, y) після перетворення (перетворене значення яскравості); α – показник значення степеня, $\alpha > 0$.

Щоб вираз (1) застосувати для перетворення яскравості, потрібно його відповідним чином перетворити: спочатку нормалізувати яскравість зображення, а потім змасштабувати до певної межі (наприклад 255). Якщо прийняти, що $b_{\min}=0$, то кінцевий вираз (1) буде таким:

$$b^*(x, y) = 255 \left[\frac{b(x, y)}{b_{\max}} \right]^\alpha. \quad (2)$$

Максимальне значення яскравості потрібно вибрати в межах $b_{\max} < 255$. Якщо $\alpha > 1$, операція (2) може бути зrealізована множенням зображення на зображення (піднесення зображення до степеня). У практиці перетворення зображення найчастіше застосовується степінь $\alpha=2$ або $\alpha=3$.

На підставі виразу (2), у популярному пакеті MATLAB-Simulink створено графічну модель перетворення зображення, на основі якої побудовано графіки функцій перетворення зображення (1, 3) піднесенням зображення до квадрата (рис. 1).

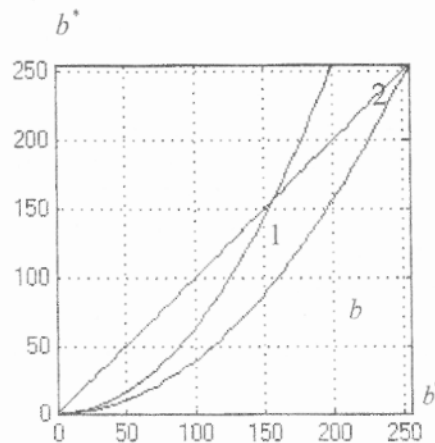


Рис. 1. Графіки функцій перетворення зображення до (2) і після (1, 3) перетворення піднесенням зображення до квадрата

Для наочності і зручності порівняння побудовано лінійну функцію ($\alpha=1$). Якщо вихідне зображення змасштабувати, прийнявши $b_{\max} = 255$, то одержимо типову квадратичну функцію перетворення зображення (крива 1). Коли $b_{\max} = 200$, то функція перетворення зображення (3) стрімко зростає і при вхідних значеннях яскравості $b > 200$, перетворене зображення досягає обмеження 255. Це означає що при збільшенні яскравості вхідного зображення перетворене зображення не змінюється і має максимальне значення. Піднісши зображення до квадрата, можна виявити небачені в оригіналі елементи. Ця операція приводить до затемнення перетвореного зображення і виділення ясних елементів.

На підставі виразу (2) і графічної моделі побудовано графіки функцій перетворення зображення (1, 3) піднесенням зображення до куба (рис. 2). Для наочності побудовано лінійну функцію ($\alpha=1$). Якщо вихідне зображення змасштабувати, прийнявши $b_{\max} = 255$, то одержимо типову кубічну функцію перетворення (крива 1). Коли $b_{\max} = 200$, то функція перетвореного зображення (3) стрімко зростає і досягає обмеження 255. При піднесенні зображення до куба крива функції перетворення зображення подібна до попередньої, але є більш пологою, а приріст яскравості, особливо в тінях, значно більший, як при піднесенні до квадрата.

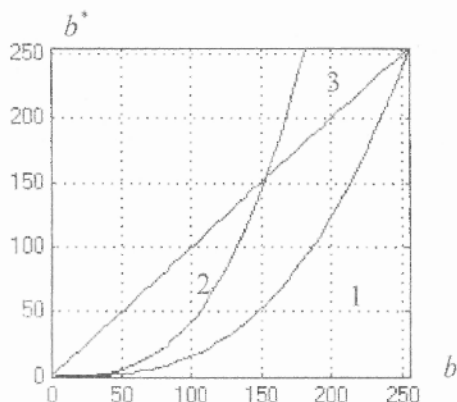


Рис. 2. Графіки функцій перетворення зображення до (2) та після перетворення (1, 3) піднесенням зображення до куба

Якщо показник степеня $\alpha < 1$, отримаємо операцію кореня відповідного степеня (найчастіше другого). Ця операція забезпечує різке збільшення контрасту при малих значеннях яскравості (в тінях) зображення.

На рис. 3 зображено типовий графік функції добування кореня квадратного (крива 1) із зображення, змасштабованого при $b_{max} = 255$. Функція перетворення різко зростає в тінях і є більш плавною в світлих тонах. Якщо прийняти $b_{max} = 200$, то функція перетворення входить у межу насичення.

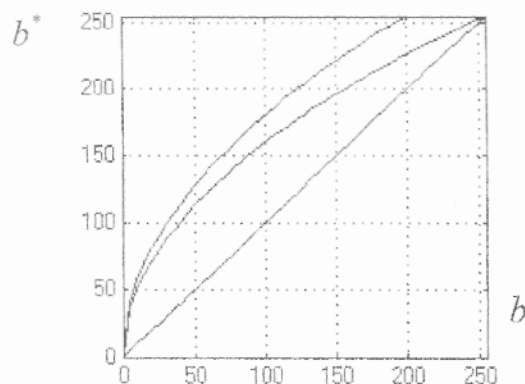


Рис. 3. Графіки функцій перетворення зображення до (2) і після перетворення (1, 3) добуванням із зображення кореня квадратного

Перетворення зображення піднесенням до степеня може бути застосоване для його корекції при виготовленні фотоформ та друкарських форм з неякісних оригіналів.

Операція піднесення до степеня широко використовується для корекції перетворювачів зображень (фотоперетворювачів), які вхідне зображення (оригінал) перетворюють в електричні сигнали, мають нелінійні статичні характеристики і тому є джерелом різних спотворень. Тут для забезпечення точності перетворення важливими є лінійність перетворювача й повне перенесення градацій контрастів. Після фотоперетворювача вихідний аналоговий сигнал спочатку піддається оцифруванню, а вже оцифрований і змасштабований послідовно для кожного пікселя перетворюється піднесенням до степеня. Спотворення зображення може викликатися зміною освітлення зображення. Корекція може бути виконана на комп'ютері згідно з програмою, яка базується на наведених виразах перетворення зображень, де перетворення здійснюється за цифровими сигналами по пікселях.

Логарифмування зображень

Логарифмування зображень широко застосовується для корекції перетвореного зображення й вирівнювання статичних характеристик фотоперетворювачів у ввідних пристроях (сканерах, цифрових апаратах, ксероксах і т. п.). Логарифмування на пікселях можна записати таким чином:

$$b^*(x, y) = \log[1 + b(x, y)] \quad (3)$$

Аналогічно до попереднього після масштабування вираз (3) матиме вигляд

$$b^*(x, y) = 255 \frac{\log[1 + b(x, y)]}{\log[1 + b_{\max}]}. \quad (4)$$

У ці вирази одиницю введено для масштабування (зміщення) функції перетворення, щоб характеристика перетворення при $b=0$ починалася з початку координат.

На підставі виразу (4) і графічної моделі побудовано графіки логарифмічної функції перетворення зображень (рис. 4). З графіка функцій 1 видно, що створюється сильне висвітлення і маємо приріст найтемніших елементів зображення. Якщо вибрати $b_{\max} = 220$, то висвітлення дещо збільшиться (крива 3).

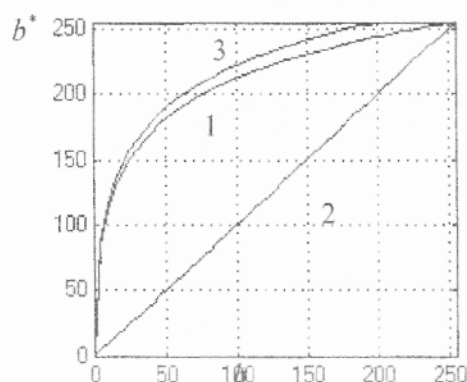


Рис. 4. Графіки логарифмічних функцій перетворення зображення до (2) та після (1, 3) перетворення

Порівняльний аналіз функцій перетворення зображень

Різні функції перетворення зображення, кількісний аналіз та їх вибір пропонується оцінювати функціями приросту перетвореного зображення, що на пікселях подамо як

$$\Delta b^*(x, y) = b^0(x, y) - b_1(x, y), \quad (5)$$

де $b^0(x, y)$ – функція ідеального лінійного перетворення; $b_1(x, y)$ – задана нелінійна функція перетворення (наприклад, піднесення до степеня, логарифмічна).

Функцію приросту яскравості перетвореного зображення для нелінійної функції піднесення до степеня на пікселях можна записати як

$$\Delta b_{\alpha}^*(x, y) = b^0(x, y) - 255 \left[\frac{b(x, y)}{b_{\max}} \right]^{\alpha}. \quad (6)$$

Функція приросту яскравості перетвореного зображення для логарифмічної функції має вигляд

$$\Delta b_{\log}^*(x, y) = b^0(x, y) - 255 \frac{\log[1 + b(x, y)]}{\log[1 + b_{\max}]}. \quad (7)$$

На підставі виразу (6) і графічних моделей перетворення побудовано графік функції приросту перетвореного зображення піднесенням до квадрата (крива 2) і до куба (крива 1).

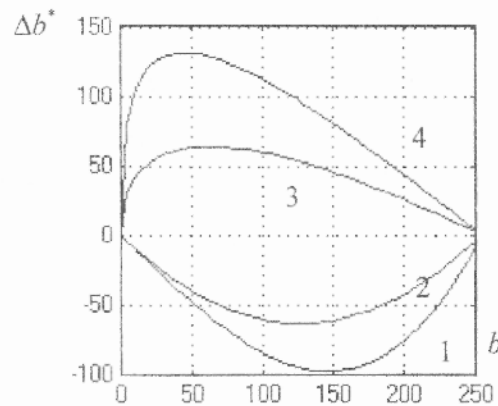


Рис. 5. Графік функції приросту перетвореного зображення піднесенням до квадрата (крива 2) і до куба (крива 1)

Як видно з рис. 5, функція приросту перетвореного зображення є від'ємною, і це означає, що елементи зображення зміщуються в бік тіней. Тут же бачимо функції приросту перетвореного зображення для логарифмічної функції (крива 4) та добування кореня квадратного (крива 3) із зображення. Ці функції приростів є додатними, тому перетворені елементи зображення зміщуються в світлу сторону. Функція приросту логарифмічного перетворення сильно зміщує перетворене зображення в світлий бік, особливо в тінях.

Зауважимо, що перетворення зображення на пікселях має значно ширші можливості порівняно з аналоговим перетворенням. Складанням відповідних алгоритмів і програм на комп'ютері можна здійснити широкий вибір нелінійних перетворень над оцифрованими зображеннями. Програмні пакети Adobe Photoshop, Corel Draw та інші мають різні засоби нелінійного перетворення чорно-білих і кольорових зображень. У діалоговому вікні можна вибирати тип перетворення і задати параметри перетворення. Ці програми створені на вищевикладених засадах перетворення зображень [2].

Викладені нелінійні підходи перетворення зображень на прикладі яскравості можна застосувати й для опису інших характеристик зображень. Наприклад, оптичної щільності, контрасту тощо, на різних стадіях процесів виготовлення друкарських форм чи підготовки до цифрового друку.

Отже, з вищевикладеного випливає:

1. Розвиток і впровадження в поліграфію новітніх інформаційних технологій вимагає істотних змін змісту й рівня підготовки фахівців-поліграфістів.
2. Однією з ключових проблем підготовки до друкування та цифрового друку є методи перетворення та аналізу оцифрованого зображення – важливі чинники ефективного розвитку та впровадження інформаційних технологій.
3. Побудовані графічні моделі нелінійних перетворень зображень у програмному пакеті MATLAB-Simulink, а на підставі їх графіки перетворення зображень можна застосувати при підготовці спеціалістів як наочну й оперативну модель перетворення зображень.

1. Анисимов Б. В., Курканов В. Д., Злобин В. К. Распознавание и цифровая обработка изображений. М., 1985.
2. Барановський І. В., Яхимович Ю. П. Поліграфічна переробка образотворчої інформації. К.; Л., 1999.
3. Виноградов Н. А. и др. Справочник по устройствам цифровой обработки информации. К., 1998.
4. Дурняк Б. В., Стрелко І. Т., Тітов Г. Н. Пристрої та системи цифрового друку. Л., 2002.
5. Луцків М. М. Простий метод опису цифрового перетворення зображень: лінійні підходи // Наукові записки: УАД. 2004. Вип. 7. С. 71 – 75.
6. Мельничук С. І., Ярема С. М. Офсетний друк. Кн. 1: Технологія та обладнання друкарських процесів. К., 2000.
7. Шлихт Т. Ю. Цифровая обработка цветных изображений. М., 1997.
8. Шовгенюк М. В. та ін. Ввід і вивід зображень в комп'ютерних видавничих системах. Л., 1998.