

УДК 655.28.022.2

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ БІНАРИЗАЦІЇ У ВИВІДНИХ ПРИСТРОЯХ ДОДРУКАРСЬКОЇ ПІДГОТОВКИ

Б. М. Гавриш¹, О. В. Тимченко^{1,2}, М. Б. Поліщук³, Г. Н. Левицька³, Н. Р. Друк³

¹Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

²Вармінсько-Мазурський університет,
вул. М. Очаповського, 2, Ольштин, 10-719, Польща

³Львівське вище професійне училище комп'ютерних технологій та будівництва,
вул. А. Лінкольна, 23, Львів, 79000, Україна

Бінаризація зображень використовується для розв'язання широкого спектра завдань: розпізнавання документів, аналіз рентгенівських знімків та ін. Велика кількість різних методів бінаризації і залежність результату роботи багатьох з них від обраних параметрів зумовлює потребу в акуратному та обґрунтованому виборі методу бінаризації і способу його налаштування.

Ключові слова: алгоритм, бінаризація, процесор растрових перетворень, яскравість, зображення.

Постановка проблеми. Цифрове зображення перед виведенням для друкування потрібно перетворити у бінарну форму, оскільки вивідний пристрій має двійковий вихід. Для цього використовують процесор растрових перетворень — ПРП (Raster Image Processor — RIP), який здійснює процедуру растрування — алгоритмічний процес відтворення півтонового зображення малими бінарними точковими елементами [6]. Цей процес стандартний для поліграфії: створюється ілюзія великої кількості відтінків при друкуванні шаром фарби постійної товщини.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На стадії додрукарської підготовки ПРП інтегровані в систему опрацювання потоку цифрових даних зображення незалежно від носіїв інформації [1]. Процесор растрових перетворень містить усі функціональні модулі, необхідні для перекладу опису складних сторінок в апаратно-специфічний формат даних, що зазвичай адресується системі виведення. Основне завдання ПРП — перетворити вхідне зображення, описане, наприклад, мовою PostScript, у формат друкуючого пристрою (фотовивідного або формовивідного, принтера, плотера і т. д.) — растрове зображення високої роздільної здатності [2].

Процес бінаризації використовується в численних завданнях з опрацювання та аналізу цифрових зображень. Однак універсальних рішень виконання цього процесу немає, і для кожного конкретного завдання підбирають свої методи. Тому нові методи бінаризації, поряд з дослідженням їх можливостей і сфер застосування,

являють інтерес з практичного погляду не лише в поліграфії. Перетворення зображення в бінарне, де колір кожного елемента або чорний, або білий, важливе для розв'язання таких завдань, як розпізнавання образів [3], контроль та аналіз матеріалів, відеоспостереження, відеокодування [4] та інших.

Окремі методи бінаризації використовують для процесів частотно-і амплітудно-модульованого растрівання [5], серед яких — стохастичне растрівання, під час якого застосовують свої алгоритми бінаризації. З численних прикладів і завдань можна виділити два підходи, описані в літературі: перший — на основі порогу, другий — на основі умови рівності яскравості пікселів.

Мета статті — дослідження алгоритму бінаризації, який використовує новий спосіб розстановки 0 і 1 в бінарній матриці, в умовах рівності яскравостей блоків.

Виклад основного матеріалу дослідження. Алгоритм, розглянутий в цій статті, належить до методів, які використовують рівність яскравостей, коли бінарне зображення має таку саму яскравість, як і яскравість вихідного півтонового зображення. З погляду зорового сприйняття ця умова виглядає природною, проте вона реалізується різними методами. Так, при псевдотонуванні (halftoning or clustered-dot ordered dither) [8] півтонове зображення розбивається на блоки заданого розміру і кожному ставиться у відповідність бінарний шаблон з рівною яскравістю. Недоліком цього методу є поява просторової структури в бінарному зображенні. Вона усувається подальшим опрацюванням, наприклад, за допомогою алгоритму дифузії помилок Error-Diffusion-Floyd-Steinberg algorithm [9], який використаний в середовищі Matlab у функції Dither для процесу бінаризації. На відміну від методу псевдотонування, запропонований алгоритм враховує розподіл яскравості всередині півтонового блоку, що запобігає виникненню помилки і дає змогу точніше відтворювати деталі.

Актуальність розроблення ще одного методу бінаризації зумовлена тим, що універсальних рішень немає, а запропоновані методи мають обмеження, які не завжди можна врахувати під час опрацювання великої кількості різнорідних зображень. Тому важливо встановити тип зображень, для яких ефективний цей алгоритм. Це питання особливо гостро постає в разі використання алгоритмів, які застосовують у стандартних ПРП, оскільки відсутній опис характеристик.

Для визначення можливості застосування з'ясуємо, яку обчислювальну складність має алгоритм і для яких типів зображень робота алгоритму найефективніша. Алгоритми, що використовують умову рівності яскравості, в загальному випадку складні в обчисленні. Тобто в алгоритмі для отримання результату потрібна кількість кроків, яка експоненціально залежить від обсягу вхідних даних, тоді він буде складним для обчислення; з другого боку, якщо така залежність поліноміальна, то алгоритм простий.

Опис алгоритму. В алгоритмі вихідне півтонове зображення, задане в цифровому вигляді, поділяється на квадратні матриці S розміром $h \times h$ з елементами $S(x, y) \in [0, 1]$. Кожна матриця S перетворюється в бінарну матрицю r того ж розміру. Перетворення $S \rightarrow r$ здійснюється за умови рівності яскравості матриці (1):

$$\text{Ent} \sum_{x,y} S(x,y) = \sum_{x,y} r(x,y) = b, \quad (1)$$

де яскравістю будемо називати суму елементів кожної матриці. Яскравість бінарної матриці дорівнює кількості одиниць b . Алгоритм працює таким чином. При кожному з $k = 1, \dots, b$ обходів елементів матриці S , в ній міститься позиція елемента з максимальним значенням. На місці цієї позиції в S записується нуль, а в бінарній матриці r — одиниця [9].

Алгоритми бінаризації, які використовують умову рівності яскравостей, в загальному випадку складні для обчислення. Це пов'язано з тим, що одним із критеріїв побудови бінарної матриці є мінімум евклідової відстані між бінарною і півтоновою матрицями. Тоді задача полягає у виборі з 2^n матриць. Досліджуваний алгоритм здійснює пошук максимального елемента матриці S , тому потрібна кількість кроків порядку bn . Для конкретних розрахунків було обрано значення $h = 12$. На відміну від методів псевдотонування [8], спосіб розташування нулів і одиниць у досліджуваному алгоритмі дає змогу перетворити півтоновий блок з урахуванням його гістограми яскравості. Візуально це виявляється в точнішому відтворенні деталей і меж об'єктів у бінарному зображенні.

Робота алгоритму. Щоб повніше розглянути роботу досліджуваного алгоритму, введемо класифікацію півтонових зображень, керуючись такими інтуїтивними міркуваннями.

У зображенні людина зазвичай може виділити дві структури: об'єкти і фон, вони відрізняються яскравістю або контрастом. Контраст може бути високим або низьким. Водночас об'єкти і фон можуть мати свою структуру. Їхня структура визначається змінами яскравості, які бувають швидкими або повільними. У результаті виходять три ознаки: контраст фону та об'єкта, ступінь зміни яскравості фону та ступінь зміни яскравості об'єкта. Тоді виникає вісім типів зображень: низько- або висококонтрастне зображення з повільною або швидкою зміною яскравості фону або яскравості об'єктів. Наведена класифікація не є універсальною, оскільки зображення — занадто складний об'єкт. Вона має локальний характер, допомагає виявити особливості роботи алгоритмів бінаризації, її можна вдосконалювати.

Порівняємо роботу досліджуваного алгоритму з трьома відомими граничними методами бінаризації: Random, Konus та Dither. У методі Random порогом є випадкова матриця з рівномірним розподілом значень на інтервалі $[0,1]$. Konus використовує детермінований поріг, який визначається функцією конусу другого порядку $z^2 = (x/u)^2 + (y/v)^2$. Метод Dither застосовує алгоритм поширення похибки Error-Diffusion-Floyd-Steinberg.

Для порівняння роботи алгоритмів використаємо об'єктивні міри якості, які засновані на метриці (гельдерова норма, метрика Мінковського), що визначає відстань між двома матрицями A і B однакового розміру з однаковою кількістю елементів N :

$$L_\mu = \left\{ (1/N) \sum_{x,y} |A(x,y) - B(x,y)|^\mu \right\}^{1/\mu}, \quad (2)$$

де $\mu = 1, 2, 3 \dots$. Оберемо такі стандартні метрики помилок: середня відстань L_1 , евклідова відстань L_2 , пікове відношення сигнал / шум ($PSNR$) = $20 \log (1/L_2)$ [10]. Ці величини описують ступінь близькості матриць: що ближче матриці одна до одної, то менші значення L_1 , L_2 і більше $PSNR$. Однак наведені критерії не мають абсолютного характеру, можуть не завжди корелювати з візуальними оцінками і слугують переважно для порівняння роботи різних методів згідно з ITU-R 500 [11].

На рис. 1 наведено приклад роботи алгоритмів бінаризації для випадку висококонтрастного зображення з плавною зміною яскравості фону й об'єкта. Зображення містить багато дрібних деталей, передавання яких у досліджуваному алгоритмі має кращий вигляд.

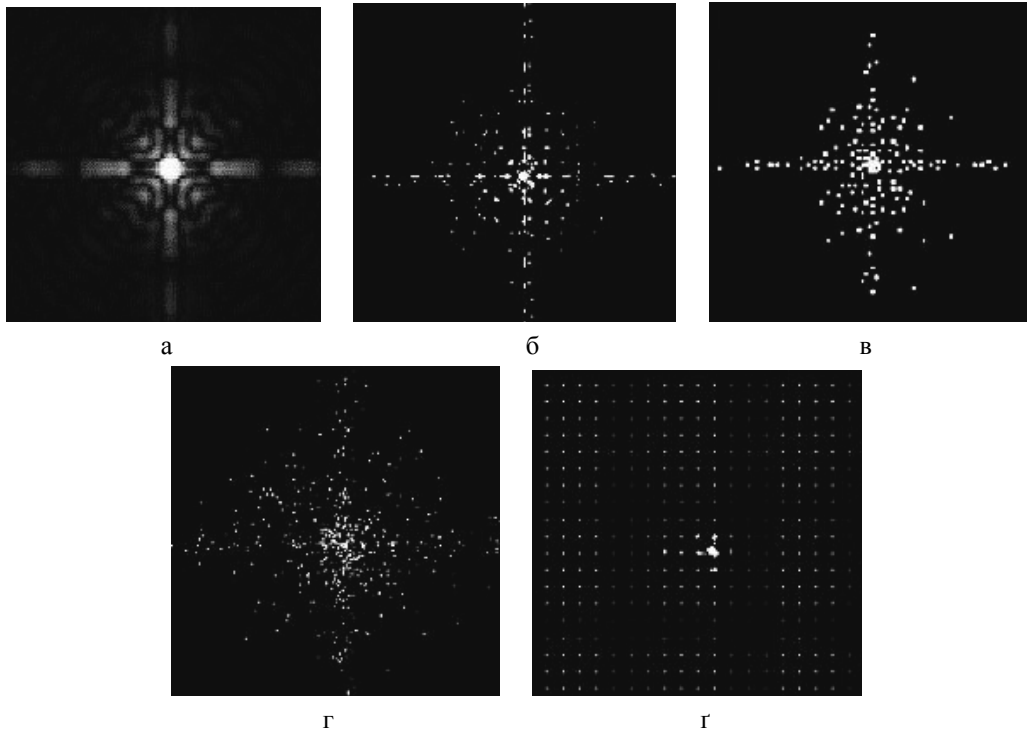


Рис. 1. Висококонтрастне зображення з плавною зміною яскравості фону й об'єкта:
а — вихідне зображення; б — робота досліджуваного алгоритму; в — Dither;
г — Random; г — Konus

Ступінь спотворень

	algorithm	Dither	Random	Konus
L1	0.0128	0.0100	0.0157	0.0154
L2	0.0718	0.0483	0.0897	0.08806
PSNR	22.8809	26.3282	20.9453	21.1116

L1 — середня відстань

L2 — евклідова відстань

PSNR — пікове співвідношення сигнал/шум

Досліджуваний алгоритм є простим в обчисленні, що робить його привабливим для використання в процесорах ПРП. Щоб визначити області ефективної роботи ПРП, введемо класифікацію зображень для опрацювання і порівняємо роботу досліджуваного алгоритму з деякими іншими алгоритмами бінаризації з використанням об'єктивних і суб'єктивних оцінок якості. Встановлено, що досліджуваний алгоритм ефективно працює із низько- і висококонтрастними зображеннями, які мають плавні зміни яскравості, де є багато дрібних деталей. Недолік алгоритму — поява поодиноких шумових пікселів під час опрацювання зображень з великими ділянками постійної яскравості.

Висновки. Для низько- і висококонтрастних зображень із плавною зміною яскравості об'єкта, для зображень із низькоконтрастною структурою фону, а також для зображень із дрібними деталями досліджуваний алгоритм ліпше від інших передає деталі та низькоконтрастні структури. Це зумовлено тим, що цей алгоритм частково відтворює гістограму яскравості блоку півтонового зображення. Під час опрацювання фону з постійною яскравістю у досліджуваного алгоритму виникають помилки, характерні для процесу бінаризації (наприклад, шум у вигляді поодиноких яскравих пікселів). Загалом описаний алгоритм гірше, ніж Dither, передає рівномірність фону та об'єктів зі значною зміною яскравості. Для цих типів зображень робота Dither має не завжди якісний вигляд через велику кількість дрібних точок, які складно відтворюються під час друкування.

Наведені результати роботи досліджуваного алгоритму узгоджуються з візуальним сприйняттям і підводять до висновку про можливу область застосування алгоритму в растровому процесорі зображень ПРП.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гавриш Б. М. Застосування процесорів растрових перетворень для опрацювання потоку цифрових даних зображення / Б. М. Гавриш // XXXIII Науково-технічна конференція «Моделювання». ІПМЕ НАН України. (Тези конференції. 15–16 січня 2014 року). — К., 2013. — С. 43.
2. Гавриш Б. М. Особливості застосування процесорів растрових перетворень в додрукарській підготовці / Б. М. Гавриш, О. В. Тимченко // Моделювання та інформаційні технології. — Вип. 72. — К., 2014. — С. 139–149.
3. Фурман Я. А. Цифровые методы обработки и распознавания бинарных изображений / Я. А. Фурман, А. Н. Юрьев, В. В. Яншин. — Красноярск : Изд-во Краснояр. университета, 1992. — 245 с.
4. Ричардсон Я. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 — стандарты нового поколения / Я. Ричардсон. — М. : Техносфера, 2005. — 366 с.
5. Кузнецов Ю. В. Технологии обработки изобразительной информации / Ю. В. Кузнецов. — М. ; СПб. : «Петербургский институт печати», 2002. — С. 308.
6. Helmut Kipphan Handbook of Print Media. Technologies and Production Methods / Helmut Kipphan. — Springer Science & Business Media, 2001.
7. Shovgenyuk M. V. Analysis of the digital screening methods of the image with modulate frequency: Preprint 1CMP-05-09U / M. V. Shovgenyuk, N. S. Pysanchyn, L. A. Didukh. —

- Institute for Condensed Matter Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2005. — 22 p. URL : [http:// www.icmp.lviv.ua/preprints/ABS/0509U.abs](http://www.icmp.lviv.ua/preprints/ABS/0509U.abs).
8. Foley J. Computer Graphics: principle and Practice Second Edition / J. Foley, A. van Dam. — 1990. — P. 568-573.
 9. Floyd R.W. An adaptive algorithm for spatial grayscale / R.W. Floyd, L. Steinberg // Proceedings Society Information Display. — 1976. — Vol. 17, № 2. — P. 75–78.
 10. Сэломон Д. Сжатие данных изображений и звука / Д. Сэломон. — М. : Техносфера, 2004. — 368 с.
 11. Recommendation 1TU-R BT.500-11. Methodology for subjective assessment of the quality of television pictures ITU-T. — 2002.

REFERENCES

1. Havrysh, B. M. (2013). Zastosuvannia protsesoriv rastrovnykh peretvoren dlia opratsivuvannia potoku tsyfrovnykh danykh zobrazhennia. XXXIII Naukovo-tekhnichna konferentsiia «Modeliuvannia». IPME NAN Ukrainy. (15–16 sichnia 2014 roku), 43 (in Ukrainian).
2. Havrysh, B. M., & Tymchenko, O. V. (2014). Osoblyvosti zastosuvannia protsesoriv rastrovnykh peretvoren v dodrukarskii pidhotovtsi. Modeliuvannia ta informatsiini tekhnolohii, 72, 139–149 (in Ukrainian).
3. Furman, Ia. A., Iurev, A. N., & Ianshin, V. V. (1992). Tcifrovye metody obrabotki i raspoznavaniia binarnykh zobrazhenii. Krasnoiar'sk: Izd-vo Krasnoiar. Universiteta (in Russian).
4. Richardson, Ia. (2005). Videokodirovanie. N.264 i MPEG-4 — standarty novogo pokoleniia. Moscow: Tekhnosfera (in Russian).
5. Kuznetsov, Iu. V. (2002). Tekhnologii obrabotki izobrazitelnoi informacii. Moscow ; Saint-Peterburg: «Peterburgskii institut pechati», 308 (in Russian).
6. Helmut, Kipphan (2001). Handbook of Print Media. Technologies and Production Methods. Springer Science & Business Media (in English).
7. Shovgenyuk, M. V., Pysanchyn, N.S., & Didukh, L. A. (2005). Analysis of the digital screening methods of the image with modulate frequency: Preprint 1CMP-05-09U. Institute for Condensed Matter Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine. Retrieved from [http:// www.icmp.lviv.ua/preprints/ABS/0509U.abs](http://www.icmp.lviv.ua/preprints/ABS/0509U.abs) (in English).
8. Foley, J., & van Dam, A. (1990). Computer Graphics: principle and Practice Second Edition, 568–573. (in English).
9. Floyd, R. W. & Steinberg, L. (1976). An adaptive algorithm for spatial grayscale. Proceedings Society Information Display, Vol. 17, 2, 75–78 (in English).
10. Selomon, D. (2004). Szhatie dannykh izobrazhenii i zvuka. Moscow: Tekhnosfera (in Russian).
11. Recommendation 1TU-R BT.500-11. Methodology for subjective assessment of the quality of television pictures ITU-T. (2002) (in English).

RESEARCH OF BINARIZATION ALGORITHMS IN OUTPUT DEVICES OF PREPRESS

B. M. Havrysh¹, O. V. Tymchenko^{1,2}, M. B. Polishchuk³, H. N. Levytska³, N. R. Druk³

¹*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
dana.havrysh@gmail.com*

²*Uniwersytet Warmińsko-Mazurski,
2, Michała Oczapowskiego, Olsztyn, 10-719, Polska,
o_tymch@ukr.net*

³*Lviv Higher Vocational School of Computer Technology and Construction,
23, Linkol'n St., Lviv, 79000, Ukraine
levitskag@mail.ru, marpoli1976@meta.ua*

Binarization of an image is used for a wide range of tasks: identification of documents, analysis of X-rays, and so on. Many different methods of binarization and the dependence of the result of many of them on the selected parameters lead to the need for the accurate and informed choice of binarization method and the mode of its settings.

Keywords: *algorithm, binarization, processor of raster transformation, brightness, image.*

Стаття надійшла до редакції 11.04.2016.

Received 11.04.2016.