

ти при виборі оздоблювальних операцій, які повинні не тільки значно покращити зовнішній вигляд паковань, але й зменшити вологопоглинання картону.

Отже, на підставі аналізу асортименту паковань охарактеризовано переваги виготовлення тари з картону. Виділено основні параметри, за якими необхідно здійснювати вхідний контроль якості картонів, та запропоновано методику їх визначення. В результаті досліджень підтверджено, що ступінь вологості картонів змінюється в машинному і поперечному напрямках, що суттєво впливає на зміну модуля пружності.

1. Гавенко С. Ф., Угрин Я. М., Волошин Н. Б. Взаємозв'язок між технологіями та експлуатаційними характеристиками картонів для виготовлення паковань // Квалілогія книги: Зб. наук. праць. 2002. Вип. 4. С. 38–40.
2. ГОСТ 12605-82. Бумага и картон. Методы определения впитываемости при одностороннем смачивании.
3. Данильський В. А. Картон и бумажная тара. М., 1979.
4. ДСТУ 3371-96. Папір та картон. Визначення жорсткості під час згинання статичними методами. Загальні положення.
5. Єфремов Н. Тара и ее производство: Учебное пособие. М., 2001.

УДК 655.027

Н. С. Писанчин, Б. М. Ковальський, М. В. Шовгенюк

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЧАСТОТНО-ГРАДАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РІЗНИХ АЛГОРИТМІВ ЦИФРОВОГО РАСТРУВАННЯ

Пропонується новий метод кількісної оцінки цифрового растрівання зображень з частотно-модульованою структурою. На основі розробленої комп'ютерної програми аналізується декілька алгоритмів цифрового растрівання за принципом поширення похибки й досліджуються особливості їх частотно-градаційних характеристик.

Предлагается новый метод количественной оценки цифрового растривания изображений с частотно-модулированной структурой. На основе разработанной компьютерной программы анализируются несколько алгоритмов цифрового растривания по принципу распространения погрешности и исследуются особенности их частотно-градиционных характеристик.

У сучасних технологіях цифрового растрівання використовують кілька базових алгоритмів, за якими градаційна шкала формується шляхом задання певного значення просторової частоти для кожного конкретного рівня інтенсивності. Для отримання частотно-модульованої структури найбільш оптимальними визнано алгоритми, що базуються на принципі поширення похибки [1, 2, 4, 9].

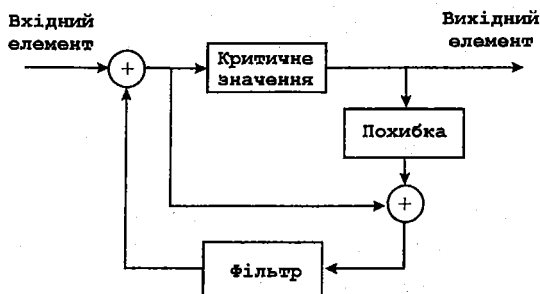


Рис. 1. Блок-схема алгоритму поширення похибки

додавання похибки чи її частини, визначеної так званим фільтром, до наступного неопрацьованого елемента.

Для отримання якісного зображення з частотно-модульованою структурою використовують поширення похибки у кількох напрямках, тобто похибку Δ ділять на декілька частин, кожна з яких додається до неопрацьованих півтонових елементів за певним пріоритетом, що

Загальний алгоритм поширення похибки описується наступною послідовністю (рис. 1):

- вибір неопрацьованого елемента півтонового зображення, т.з. піксела (від англ. Picture element);
- порівняння значення обраного елемента з критичним значенням (найчастіше 127 – 50% тону);
- обчислення похибки;
- надання елементу бінарного значення 0 чи 1 (біле чи чорне);

визначається матрицею-фільтром [4]. Ідея належить Флойду та Стейнбергу, котрі вперше запропонували для цифрового растровання застосування фільтра вигляду

$$\begin{bmatrix} & \Delta & 7 \\ 3 & 5 & 1 \end{bmatrix}$$

за яким похибка Δ для будь-якого аналізованого елемента a_{ij} зображення ділиться на 16 і додається як 7/16 для сусіднього елемента справа, 5/16 для сусіднього елемента знизу, 3/16 для нижнього елемента зліва та 1/16 для нижнього елемента справа [3]. Відомі роботи [3, 5–7], в яких запропоновано більш складні алгоритми поширення похибки.

У роботах авторів [1, 2] описано спеціальну комп'ютерну програму, яка реалізує різні алгоритми поширення похибки із застосуванням відповідного фільтра, а також запропоновано метод кількісної оцінки цифрового растровання на основі побудови частотно-градаційної характеристики $\langle \nu \rangle = f(S_{відн.})$.

Метою даної роботи є порівняльний аналіз особливостей частотно-градаційних характеристик різних алгоритмів цифрового растровання. Для вирішення поставленої задачі достатньо вибрати еталонну частотно-градаційну криву випадкової структури. Чисельними розрахунками встановлено, що частотно-градаційна характеристика всіх випадкових структур має дві симетричні вітки: перша з них характеризує лінійний перехід від півтонів до точки $S_{відн.} = 50\%$ і, відповідно, друга – від точки $S_{відн.} = 50\%$ до темних ділянок растрового зображення. Максимальне значення середньостатистичної частоти випадкової структури $\langle \nu \rangle_{\max} < 1$. Це значить, що в точці $S_{відн.} = 50\%$ випадкової структури утворення квазіперіодичної структури теоретично виключено. З врахуванням граничних значень $S_{відн.}^{\min} = 5\%$; і $S_{відн.}^{\max} = 95\%$ у межах половини градаційної шкали величина середньостатистичної частоти $\langle \nu \rangle$ частотно-модульованої випадкової структури змінюється майже на порядок.

Для порівняння розглянемо декілька найбільш відомих алгоритмів поширення похибки та їх характерні частотно-градаційні характеристики.

Отже, зображення, растроване за алгоритмом Флойда–Стейнберга, має хороші відтворювальні властивості. Як видно з побудованої градаційної шкали (рис. 2), ділянки 0 – 25% та 75 – 100% відтворюються рівномірно хаотично розташованими растровими елементами. Далі, у міру зростання інтенсивності тону, угруповання точок починають утворювати діагональні візерунки та інші регулярні структури, а в області 50% тону – шахоподібний або смугастий візерунок. Крім того, втрачаються елементи у високих світах та тінях і, як наслідок, порушується градація.

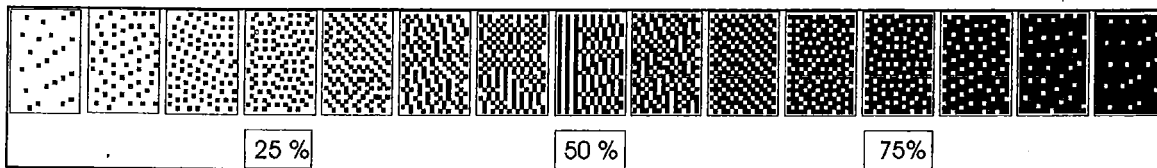


Рис. 2. Градаційна шкала, побудована за алгоритмом Флойда–Стейнберга [2]

На рис. 3 показана типова частотно-градаційна характеристика частотно-модульованого растрового зображення за класичним алгоритмом Флойда–Стейнберга, яка досліджувалася авторами [2]. Залежність $\langle \nu \rangle = f(S_{відн.})$ має типовий характер для частотно-модульованої структури: $\langle \nu \rangle_{\max} \approx 1$ відповідає $S_{відн.} = 50\%$. Це значить, що в півтонах досягається максимальне значення частоти растрового зображення.

Характерно, що за алгоритмом Флойда–Стейнберга частотно-градаційна характеристика по рядках відповідає типовому характеру. По стовпцях аналогічна залежність лінійна і збігається з характеристикою по рядках лише в певних межах ($S_{відн.} = 5-35\%$, $S_{відн.} = 75-97\%$). При відтворенні середніх тонів частота розташування точок у стовпцях змінюється стрибками, а в області 50% тону рівна нулю (відтворюється вертикальними смужками, це добре видно і на градаційній шкалі (рис. 3). Такі аномалії зумовлені природою класичного алгоритму Флойда–

Стейнберга. З вищевикладеного випливає, що частотно-градаційна характеристика дає можливість провести кількісний аналіз особливостей реалізації алгоритму та оцінити правильність тоновідтворення, ймовірність виникнення регулярних структур у дискретному зображенні.

Для поліпшення якості растрованого зображення різними авторами [3, 5–7] запропоновано модифікувати фільтр Флойда–Стейнберга (див. таблицю). Так, Джарвіс, Джудіс і Найк [5] використали додаткові напрями поширення похибки. Складніший фільтр дозволяє запобігти утворенню шахоподібних структур (рис. у таблиці) – максимум частотно-градаційної характеристики і по рядках, і по стовпцях менший за одиницю, але незбіжність характеристики по рядках і стовпцях свідчить про утворення регулярних структур іншого характеру. Виникає ще, не менш важливий, недолік – спотворене відтворення градації. Фактично діапазон відтворення лежить у межах 10 – 75%, а ділянка з найбільшою частотою розташування растрових елементів відповідає 40% тону (рис. 4.). Крім того, через великий об'єм фільтра процес значно уповільнюється.

Стакі [7] запропонував фільтр, подібний до попереднього, але з іншими пріоритетами поширення похибки. Хоча швидкість процесу не збільшилася, та при відтворенні зображення досягнуто значного покращення результатів. Частотно-градаційна характеристика алгоритму Стакі (рис.5) подібна до характеристики алгоритму Флойда–Стейнберга (рис. 3) і відрізняється від неї тим, що максимальна частота розташування елементів у рядках менша за одиницю ($\langle v \rangle_{\max} \approx 0,9$), отже, угруповання елементів у вигляді шахівниці зустрічаються рідше. Значення частоти розташування точок у стовпцях при відтворенні 50% тону різко зменшується, але не падає до нуля. Отже, якщо і утворюється смугастий візерунок, то смужки мають невелику довжину і не створюють видимих недоліків (рис. у таблиці). Крім того, цей алгоритм дає відтворення градації 2 – 98%.

Баркес [3], удосконалюючи фільтр Стакі, використав такі ж пріоритети, але зменшив кількість напрямів поширення похибки. Такий алгоритм дає майже лінійну залежність $\langle v \rangle = f(S_{\text{відн.}})$ по рядках і стовпцях у ділянках $S_{\text{відн.}}=5-35\%$, $S_{\text{відн.}}=75-97\%$ (рис. 6), тобто ці ділянки відтворюються хаотично розташованими елементами, що дає змогу імітувати рівномірний сірий тон. В області середніх тонів характеристики дещо не збігаються, але дуже різких стрибків немає, а отже, відсутні помітні для ока недоліки структури. Хоча шахівниця у середніх тонах зустрічається досить часто, про що свідчить значення $\langle v \rangle_{\max} \approx 0,95$ для рядків та $\langle v \rangle_{\max} \approx 0,98$ для стовпців.

Сієрра [6] запропонував два алгоритми. В одному використовується дворядковий фільтр на зразок попереднього, але із зменшеними значеннями пріоритету поширення похибки. Це дозволяє дещо збільшити швидкість процесу. Щодо якості відтворення, то алгоритм Сієрри продукує структури, найбільш наближені до чисто випадкової. Як і за всіма іншими алгоритмами, частотно-градаційні характеристики по рядках і стовпцях збігаються у світах і тінях (рис. 7). У ділянці середніх тонів спостерігається незбіжність і несиметричність кривих. Це говорить про можливість утворення регулярних структур, але не шахівниці, оскільки максимум середньостатистичної частоти елементів по рядках дорівнює 0,78, а по стовпцях – 0,6. Спостерігається також не зовсім коректне відтворення градації, бо максимум відповідає 55% тону. Таке зміщення дасть у цілому темніше вихідне зображення. Серйозним недоліком алгоритму є те, що при відтворенні 66% тону він дає таку ж аномалію, як і алгоритм Флойда–Стейнберга у ділянці 50% – візерунки у вигляді вертикальних смуг.

Другий більш складний алгоритм включає три додаткових напрямів поширення похибки. В результаті такої модифікації зменшується вірогідність появи смугастих візерунків, але зберігається деяка несиметричність частотно-градаційної характеристики у середніх тонах (рис. 8). Перевагою трирядкового фільтра є те, що він дає найменше значення середньостатистичної частоти елементів у ділянці 50% тону – 0,7 і 0,6 по рядках і стовпцях, відповідно, а отже, і найменшу вірогідність утворення візерунка у вигляді шахівниці.

**Порівняння поля 50% за
різними алгоритмами**

Автор	Фільтр	Поле 50% тону
Джарвіс, Джудіс, Найк	$\begin{matrix} & \Delta & 7 & 5 \\ 3 & 5 & 7 & 5 & 3 \\ 1 & 3 & 5 & 3 & 1 \end{matrix}$ (1/48)	
Стакі	$\begin{matrix} & \Delta & 8 & 4 \\ 2 & 4 & 8 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 4 & 2 & 1 \end{matrix}$ (1/42)	
Баркес	$\begin{matrix} & \Delta & 8 & 4 \\ 2 & 4 & 8 & 4 & 2 \\ & & & & \end{matrix}$ (1/32)	
Сієрра -1	$\begin{matrix} & \Delta & 4 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \\ & & & & \end{matrix}$ (1/16)	
Сієрра -2	$\begin{matrix} & \Delta & 5 & 3 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ & 2 & 3 & 2 & \end{matrix}$ (1/32)	

Кожен з алгоритмів має свої переваги і недоліки, та спільною залишається закономірність: чим складніший фільтр, тим менша ймовірність появи текстур, але зображення, растровані за складними алгоритмами, мають підвищену контрастність, і зменшується швидкість їх опрацювання внаслідок збільшення об'єму обчислення [8].

Як відомо, в ідеальному випадку тоновідтворення градаційна характеристика виражається прямою лінією, тангенс кута нахилу якої до осі дорівнює одиниці. Для всіх досліджуваних зразків характер передачі градації свідчить про підвищений контраст зображень в інтервалі $S_{відн.}$ 20%–85%. Лише в трирядковому алгоритмі Сієрри в ділянках $S_{відн.}=5-35\%$, $S_{відн.}=75-97\%$ цей показник близький до 1.

Спільною особливістю всіх алгоритмів є втрата елементів у світах і тінях. Це відбувається через різкий спад значень $\langle v \rangle$ у цих ділянках. Тому півтонові зображення перед раструванням потребують додаткового стискування градаційної шкали (в межах 5%).

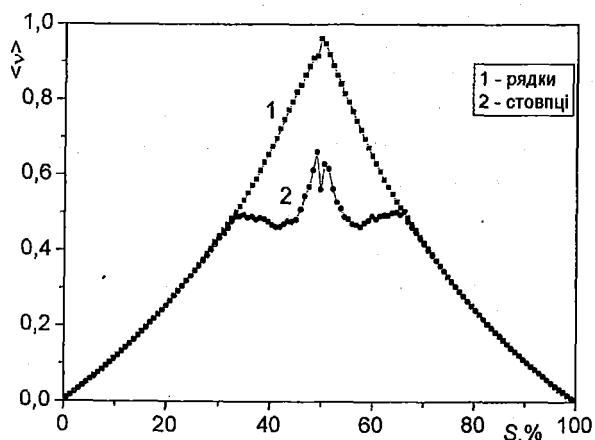


Рис. 3. Частотно-градаційна характеристика алгоритму Флойда-Стейнберга

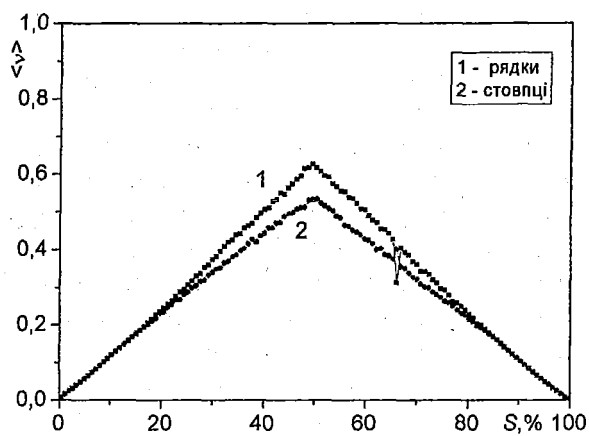


Рис. 4. Частотно-градаційна характеристика алгоритму Джарвіса, Джудіса і Найка

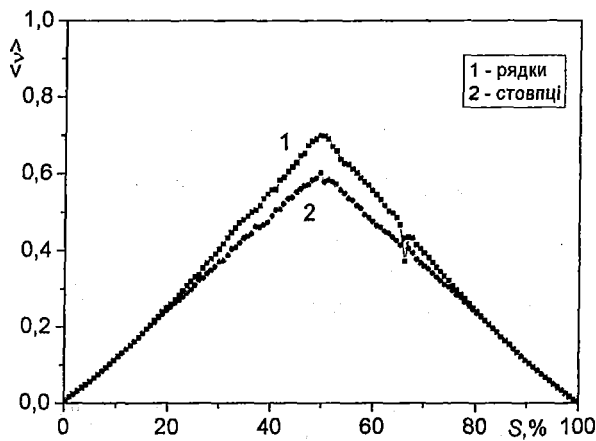


Рис. 5. Частотно-градаційна характеристика алгоритму Стакі

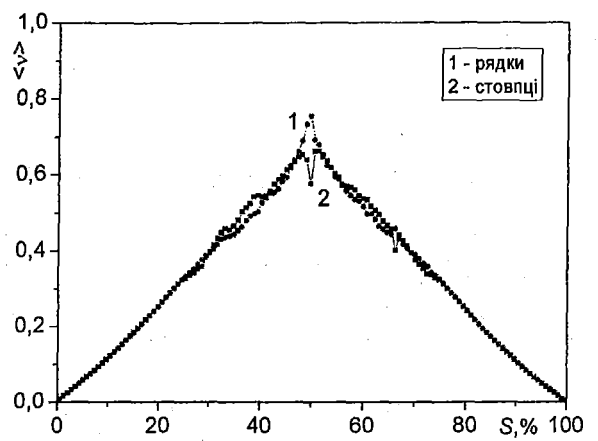
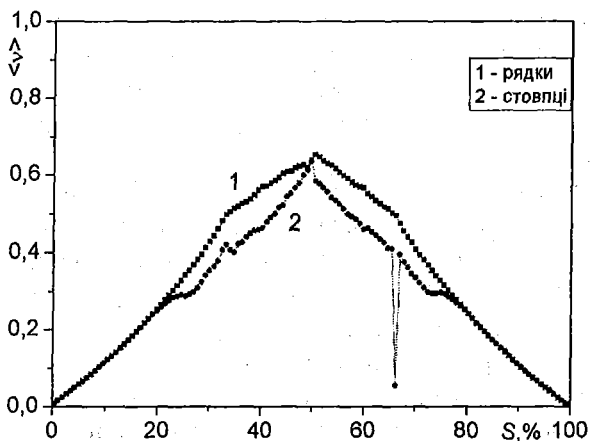
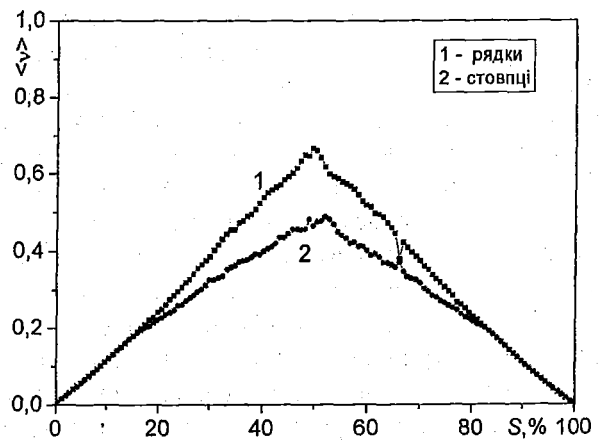


Рис. 6. Частотно-градаційна характеристика алгоритму Баркеса



а



б

Рис. 7. Частотно-градаційна характеристика алгоритму

а – Сієра-1; б – Сієра-2

Отримані результати досліджень свідчать, що величина середньостатистичної частоти частотно-модульованої структури дозволяє аналізувати правильність тоновідтворення та ймовірність виникнення регулярних структур у дискретних зображеннях. Запропонований метод побудови частотно-градаційної характеристики дає можливість провести кількісний аналіз особливостей реалізації різних алгоритмів і пошук оптимальних варіантів реалізації цифрового растрування зображення за принципом поширення похибки.

1. Стефанишина Н., Шовгенюк М., Сучасні технології цифрового растрування зображень // Комп'ютерні технології друкарства: 36. наук. праць. 2001. №6. С. 9–16.
2. Стефанишина Н.С., Шовгенюк М.В., Дудяк В.О. Частотно-градаційні характеристики цифрового растрування за принципом поширення похибки // Наукові записки / УАД. 2002. Вип. 5. С. 96–103.
3. Burkes B. Presentation of the Burkes error filter for use in preparing continuous-tone images for presentation on bi-level devices. 1988.
4. Bruno J. Shrappe Hybrid Screening Algorithms, NY, 1997.
5. Jarvis J.F., Judice C.N., and Ninke W.H., A Survey of Techniques for the Display of Continuous Tone Pictures on Bi-Level Displays, 1976.
6. Sierra F. LIB17 (Developer's Den) of the CIS Graphics Support Forum as the files.
7. Stucki P. MECCA - a multiple-error correcting computation algorithm for bilevel image hardcopy reproduction. Zurich (Switzerland), 1981.
8. Ulichney R., A review of halftoning techniques//www.crl.research.digital.com/who/people/ulichney/bio.htm.
9. Floyd R., Steinberg L. An Adaptive Algorithm for Spatial Gray Scale, SID 1975.