

УДК 655.22

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ
ЗОБРАЖЕНЬ У ВИДАВНИЧИХ ВИВІДНИХ СИСТЕМАХ**Б. М. Гавриш¹, О. В. Тимченко^{1,2}, Г. Н. Левицька³, М. Б. Поліщук³

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

Для автоматичного опрацювання зображень у видавничих вивідних системах необхідно попередньо знизити рівень шуму, підвищити різкість, зменшити можливість виникнення муару, тобто підвищити якість зображення перед друком. Низку методів аналізу й опрацювання зображень значно простіше проводити в області перетворень, зокрема із застосуванням перетворення Фур'є. Проаналізовано методику отримання амплітудного спектра зображення. Наведено результати його застосування для зображень простих фігур, розглянуто значення амплітудного спектра для розмитих і деталізованих зображень. Показано способи автоматичного опрацювання зображень у видавничих вивідних системах лазерного типу.

Ключові слова: зображення, Фур'є-образ, растрова структура, амплітуда, модуль ДПФ, візуалізація.

Постановка проблеми. У поліграфічній промисловості поєднують різні способи підготування зображень до друку, використовуючи різноманітні технології, що ускладнює оцінювання якості друкарських відбитків. Значне погіршення якості зображення спостерігається у разі високого рівня шуму. Зменшують рівень шуму переважно завдяки застосуванню різного типу фільтрів — нижніх і верхніх частот, медіанних, гаусових та інших. Проте в багатьох випадках аналіз та опрацювання таких зображень доцільно проводити не в просторовій, а в частотній області [1]. При цьому потрібно порівняти спектри зображень і дослідити структуру фону, що дасть змогу проводити операцію фільтрації в частотній області для видалення всіх видів шумів і муару.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сучасному етапі розвитку інформаційних систем виник важливий науково-технічний напрям, пов'язаний з автоматичним опрацюванням зображень і розпізнаванням зорових образів.

Під час аналізу оригіналу потрібно звернути увагу на градацію, колір, а особливо параметри різкості зображення (з якою точністю відтворюються дрібні

деталі зображення). До інформаційних властивостей належать також частотні характеристики, зокрема, різкість оригіналу з урахуванням збільшення масштабу визначається для того, щоб з'ясувати, на якій стадії необхідно проводити корекцію [2].

До частотних параметрів, які суттєво погіршують якість зображення, належать шуми, до того ж треба оцінити рівень шумів у зображенні та їхній тип (аналогові/імпульсні), оскільки від нього залежать операції зменшення рівня шумів. У багатьох випадках потрібно враховувати наявність детермінованих шумів, викликаних, наприклад, растровою структурою поліграфічної репродукції, якщо оригіналом для отримання цифрового зображення є поліграфічний відбиток. Сканування оригіналів необхідно проводити з високою роздільною здатністю, тому під час взаємодії з растром додатково виникає муар. До таких самих ефектів може призвести і періодична структура самого зображення. Для розв'язання цієї проблеми потрібно [3]:

- використовувати фільтри для видалення растрової структури;
 - намагатися зберегти наявну растрову структуру для використання на вивід.
- Корекція структурних властивостей зображення поділяється на:
- корекцію різкості;
 - корекцію шумів.

Здебільшого практично значущі результати для аналізу можуть бути отримані за бінарним зображенням, яке формується за вихідним багатоградацийним або кольоровим. При цьому значно спрощується аналіз зображення, зменшується обсяг опрацьованої інформації і, враховуючи сучасний рівень розвитку обчислювальних засобів, вдається досягти можливості роботи в реальному масштабі часу.

Мета статті — дослідити трансформацію бінарного зображення в частотну область методами перетворення Фур'є та проаналізувати його щодо можливості автоматичної корекції різкості та шумів початкового зображення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для поліпшення якості візуалізації або перетворення зображень у зручний вигляд для подальшого опрацювання у просторовій області в лазерних системах виведення є можливість використовувати способи опрацювання зображень, які можуть бути реалізовані в області просторових частот.

Представлення зображень у частотній області

Зображення описується матрицею значень яскравості дискретних елементів у просторовій області, а його представлення в області просторових частот буде матрицею, отриманою за допомогою розкладання вихідної матриці зображення за обраним базисом. Дискретизація зображення реалізується відповідно до теореми Найквіста, а отриманий після дискретизації періодичний спектр проходить через фільтр з прямокутною амплітудно-частотною характеристикою. Результати такого перетворення є спектром оцифрованого зображення. Далі зображення опрацьовують методом розкладання їх у ряд окремих гармонійних складових, одержаних із використанням перетворення Фур'є. Отримуємо дискретне значення спектра оцифрованого зображення [4].

Розглянемо спочатку перетворення Фур'є аналогового зображення. Спектр зображення (image spectrum) одержують прямим двовимірним перетворенням Фур'є функції, що описує зображення:

$$F(\omega_x, \omega_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \exp[-j(\omega_x x + \omega_y y)] dx dy, \quad (1)$$

де (ω_x, ω_y) — просторові частоти; $j = \sqrt{-1}$ — уявна одиниця.

Функція $\exp[-j(\omega_x x + \omega_y y)]$ при фіксованих значеннях просторових частот описує плоску хвилю в площині зображення (x, y) .

Формула (1) пов'язує дійсну функцію, що описує яскравість зображення, з комплексною функцією частоти — спектром зображення:

$$\begin{aligned} F(\omega_x, \omega_y) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \cos(\omega_x x + \omega_y y) dx dy + \\ &+ j \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \sin(\omega_x x + \omega_y y) dx dy = \\ &= \operatorname{Re} F(\omega_x, \omega_y) + j \operatorname{Im} F(\omega_x, \omega_y), \end{aligned} \quad (2)$$

де $\operatorname{Re} F(\omega_x, \omega_y)$ — дійсна, $\operatorname{Im} F(\omega_x, \omega_y)$ — уявна частина спектра.

Амплітуда і фаза спектра визначаються за формулами:

$$A(\omega_x, \omega_y) = \sqrt{\operatorname{Re}^2(F(\omega_x, \omega_y)) + \operatorname{Im}^2(F(\omega_x, \omega_y))}; \quad (3)$$

$$\varphi(\omega_x, \omega_y) = \tan^{-1} \frac{\operatorname{Im}(F(\omega_x, \omega_y))}{\operatorname{Re}(F(\omega_x, \omega_y))}. \quad (4)$$

З (3) можна записати: $F(\omega_x, \omega_y) = A(\omega_x, \omega_y) e^{-j\varphi(\omega_x, \omega_y)}$.

Відновлення зображення здійснюється з його спектра використанням оберненого перетворення Фур'є [4]:

$$f(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \iint_{-\infty}^{\infty} F(\omega_x, \omega_y) \exp(j(\omega_x x + \omega_y y)) d\omega_x d\omega_y. \quad (5)$$

Спектральна інтенсивність (spectral intensity), спектральна щільність (spectral density) чи енергетичний спектр (energy spectrum) зображення характеризує розподіл енергії за просторовими частотами. Вона визначається як квадрат модуля спектра зображення:

$$S(\omega_x, \omega_y) = |F(\omega_x, \omega_y)|^2 = A^2(\omega_x, \omega_y). \quad (6)$$

Енергія зображення визначається як інтеграл енергетичного спектра за просторовими частотами і відповідно до теореми Парсеваля може бути обчислена за формулою:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f^2(x, y) dx dy = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |F(\omega_x, \omega_y)|^2 d\omega_x d\omega_y. \quad (7)$$

У випадку зображень, що являють собою дискретний двовимірний сигнал, спектром є також дискретний двовимірний сигнал. Базисні функції перетворення Фур'є в цьому випадку мають такий вигляд:

$$h_{m,n}^{\sin}(i, k) = \sin \frac{2\pi im}{M} \sin \frac{2\pi kn}{N}, \quad (8)$$

$$h_{m,n}^{\cos}(i, k) = \cos \frac{2\pi im}{M} \cos \frac{2\pi kn}{N}, \quad (9)$$

де M, N — розмір вихідного сигналу, або розмір спектра (значення яскравості сигналу), m, n — номери базисних функцій (номери коефіцієнтів двовимірного ДПФ). Оскільки розмірність спектра дорівнює розмірності вихідного сигналу, то $i = 0, M-1, k = 0, N-1, i, k$ — індекси базисних функцій. Позаяк область визначення базисних функцій збігається з областю визначення сигналу, то $m = 0, M-1, n = 0, N-1$.

Двовимірні ДПФ і ОДПФ визначаються такими формулами, де $x(i, k)$ — вихідний сигнал (матриця яскравості зображення), $F(m, n)$ — його спектр:

$$F(m, n) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{M-1} x(i, k) \exp[-j2\pi(im/M + kn/N)], \quad (10)$$

$$x(i, k) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} F(m, n) \exp[j2\pi(im/M + kn/N)]. \quad (11)$$

Застосуємо ДПФ $N \times M$ — точкової послідовності, заданої формулою («чорний квадрат»):

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1, \text{ при } 0 \leq i < N, 0 \leq j < M, \\ 0 - \text{інакше,} \end{cases} \quad (12)$$

де (N_1, N_2) — розміри зображення $N_1 \geq M_1, N_1 \geq M_2$.

Послідовність $F(m, n)$ можна знайти як:

$$F(m, n) = \frac{\sin\left(\frac{\pi n M_1}{N_1}\right)}{\sin\left(\frac{\pi n}{N_1}\right)} \cdot \frac{\sin\left(\frac{\pi m M_2}{N_2}\right)}{\sin\left(\frac{\pi m}{N_2}\right)} \cdot \exp\left(-j2\pi\left(\frac{n(M_1-1)}{N_1} + \frac{m(M_2-1)}{N_2}\right)\right). \quad (13)$$

Результатом виконання операції ДПФ є значення амплітуд $A_m(m, n)$ і фаз спектра зображення $\varphi(m, n)$.

Розглянемо приклад такого перетворення. Модуль перетворення зображення, яке описується залежностями: $N_1 = N_2 = 32, M_1 = M_2 = 8$, показаний на рис.1.

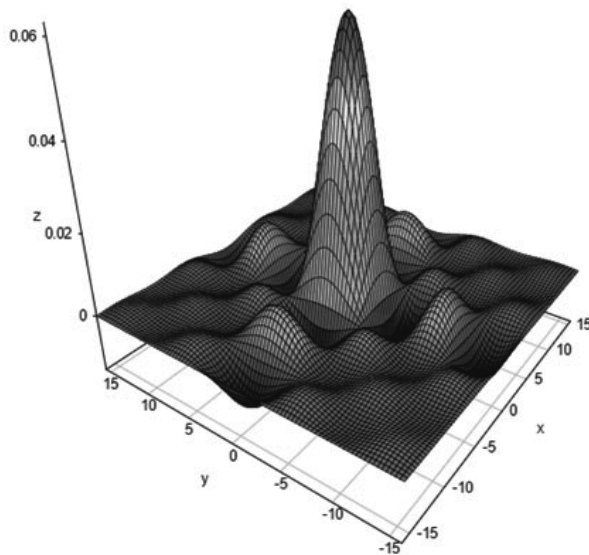


Рис.1. Модуль ДПФ простого зображення

Розрахунок амплітуди складової спектра здійснюється аналогічно (3) за формулою:

$$A_m(m, n) = \sqrt{\operatorname{Re}^2(F(m, n)) + \operatorname{Im}^2(F(m, n))}, \quad (14)$$

де Re — функція дійсної, та Im — уявної частини.

Введемо позначення:

$$\psi = \operatorname{arctg}[\operatorname{Im}(m, n) / \operatorname{Re}(m, n)] \quad (15)$$

тоді фаза складових спектра визначається як

$$\varphi(m, n) = \begin{cases} \psi, & \text{при } \operatorname{Im}(m, n) \geq 0, \operatorname{Re}(m, n) \geq 0; \\ \pi / 2 - \psi, & \text{при } \operatorname{Im}(m, n) \geq 0, \operatorname{Re}(m, n) < 0; \\ \pi + \psi, & \text{при } \operatorname{Im}(m, n) \leq 0, \operatorname{Re}(m, n) < 0; \\ 2\pi + \psi, & \text{при } \operatorname{Im}(m, n) \leq 0, \operatorname{Re}(m, n) > 0; \\ \pi / 2, & \text{при } \operatorname{Im}(m, n) > 0, \operatorname{Re}(m, n) = 0; \\ 3\pi / 2, & \text{при } \operatorname{Im}(m, n) < 0, \operatorname{Re}(m, n) = 0. \end{cases} \quad (16)$$

Візуалізації амплітудного спектра дійсного зображення (яке реально сприймається оком людини) в оптиці прийнято називати Фур'є-образом зображення [5]. Для дослідження сформуємо два зображення з різними законами змін яскравості. Для першого з них яскравість змінюється за гармонійним законом із заданим періодом T_1 тільки уздовж осі i

$$x_{i,j} = 0,5x_{\max} (\cos(2\pi i / T_1) + 1), \quad (17)$$

де x_{\max} — максимальна яскравість у зображенні. Заданий розподіл яскравості зображений на рис. 2а. Друге зображення (рис. 2б) характеризується як гармонійною зміною яскравості з періодом T_1 уздовж осі i , так і зміною яскравості з періодом $T_2 = T_1$ уздовж осі j , яке описується співвідношенням

$$x_{i,j} = 0,5x_{\max} (\cos(2\pi i / T_1) \cos(2\pi j / T_2) + 1). \quad (18)$$

У результаті розрахунку ДПФ для розглянутих зображень та обчислення відповідних амплітудних спектрів найбільше значення амплітуди має нульова спектральна складова (постійне значення). Лінійне контрастування амплітудного спектра при отриманні його зображення, що складається із 256 градацій яскравості, призводить до того, що ненульові частотні складові, які відповідають різким змінам яскравості зображення, дрібні деталізації стають слабо помітними.

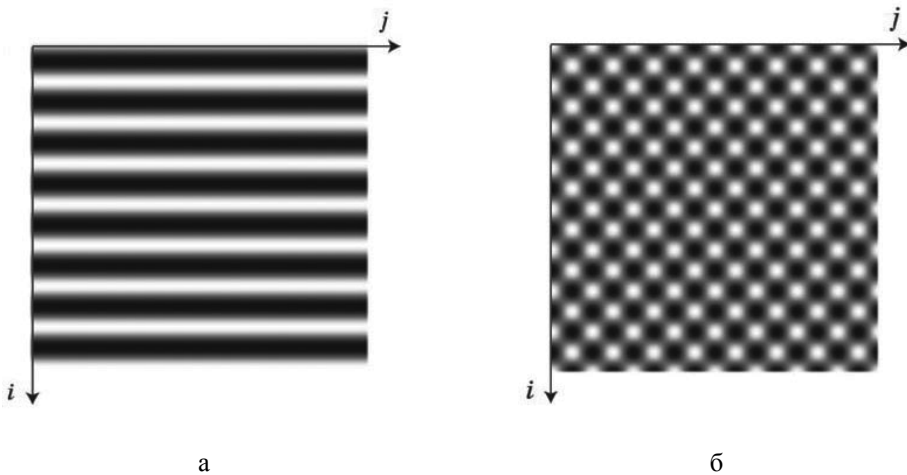


Рис. 2. Зображення із гармонійною зміною яскравості по одній (а) і двох (б) координатних осях

Для поліпшення їх візуальної якості можна провести попереднє опрацювання, яке полягає у використанні нелінійного перетворення над значеннями амплітуд такого типу, що зменшує значення великих амплітуд, наприклад, використовуючи логарифмування амплітудного спектра. Іншим способом візуалізації ненульових частотних складових є лінійне контрастування, яке здійснюється для всіх частот окрім нульової, з подальшим наданням їй найбільшої градації яскравості.

На рис. 3а і 3б зображені отримані таким способом візуалізації для зображень 2а і 2б, відповідно. Розглянемо спочатку рис. 3а. Зазначимо, що вихідне зображення було квадратним з розмірами $M = N = 32$. Періоди $T_1 = T_2 = 4$. Отримане зображення амплітудного спектра має такі особливості: перша яскрава точка з координатами $(0; 0)$ відповідає постійній складовій, друга точка $(8; 0)$ відповідає частоті зміни яскравості, її координата по осі m може бути розрахована за формулою $mf = M / T_1$.

Якщо mf не буде цілим числом, то замість однієї точки в нульовому стовпці буде спектр точок з ненульовою амплітудою [6]. Друга координата розглянутої точки по осі $n = 0$, оскільки вздовж зазначеної осі яскравість постійна. Третя точка, координати якої дорівнюють $(24; 0)$, є «дзеркальною» до точки $(8; 0)$ щодо центру осі m , тобто її координата по цій осі визначається як $M - mf$.

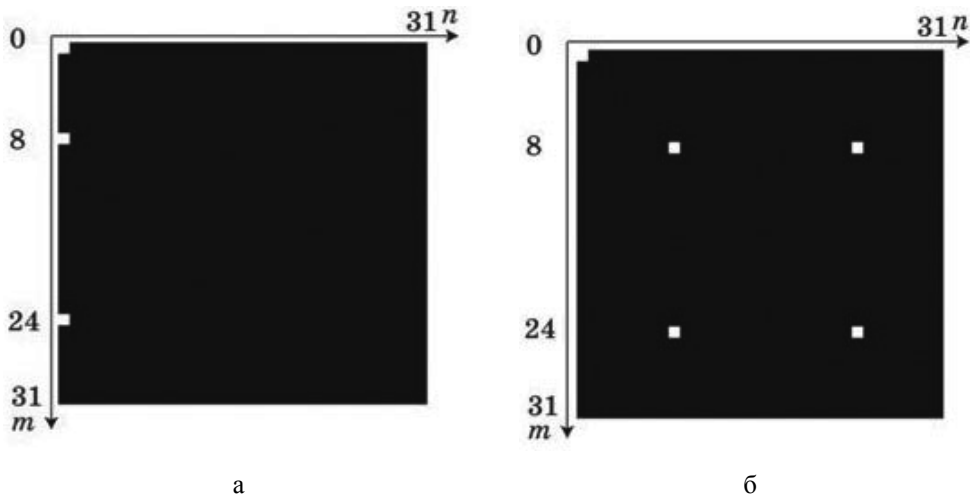


Рис. 3. Візуалізація амплітудних спектрів зображень, наведених на рис. 2

Це є наслідком симетричності амплітудного спектра аналогового зображення щодо нульової частоти, крім того дискретизація зображення призводить до періодизації його спектра. Оскільки дискретизація зображення проводиться по кожній просторовій осі, то й періодизація спектра відбувається за двома частотними осями. Ілюстрацією цього ефекту є рис. 3б.

У когерентній оптиці перетворення Фур'є має реальну фізичну інтерпретацію. Воно описує дифракцію Фраунгофера при проходженні когерентного пучка через оптичну систему з досить малою кутовою апертурою. Справді, будь-яка дифракційна оптична система за допомогою когерентних хвиль крім зображення об'єкта, що визначається законами геометричної оптики, ставить йому в відповідність двовимірний Фур'є-образ на площині, який визначається законами дифракції.

Припустимо, що вихідна форма сигналу в просторі зображень — коло з рівномірним розподілом яскравості. Фізичний аналог цього явища — дифракція Фраунгофера на круглomu отворі.

Зображення, його Фур'є-образ і модуль ДПФ зображені на рис. 4а, 4б і 4в, відповідно. Для комфортного зорового сприйняття Фур'є-образу і отримання зображення, яке демонструвало б результат дифракції на круглomu отворі, зазвичай застосовують таку процедуру. Спочатку підносять модуль ДПФ у степінь, менший від одиниці. Потім зміщують початок координат по обох осях на половину інтервалу та формують симетричне доповнення навколо центру, застосовуючи при цьому процедуру лінійного контрастування зображення.

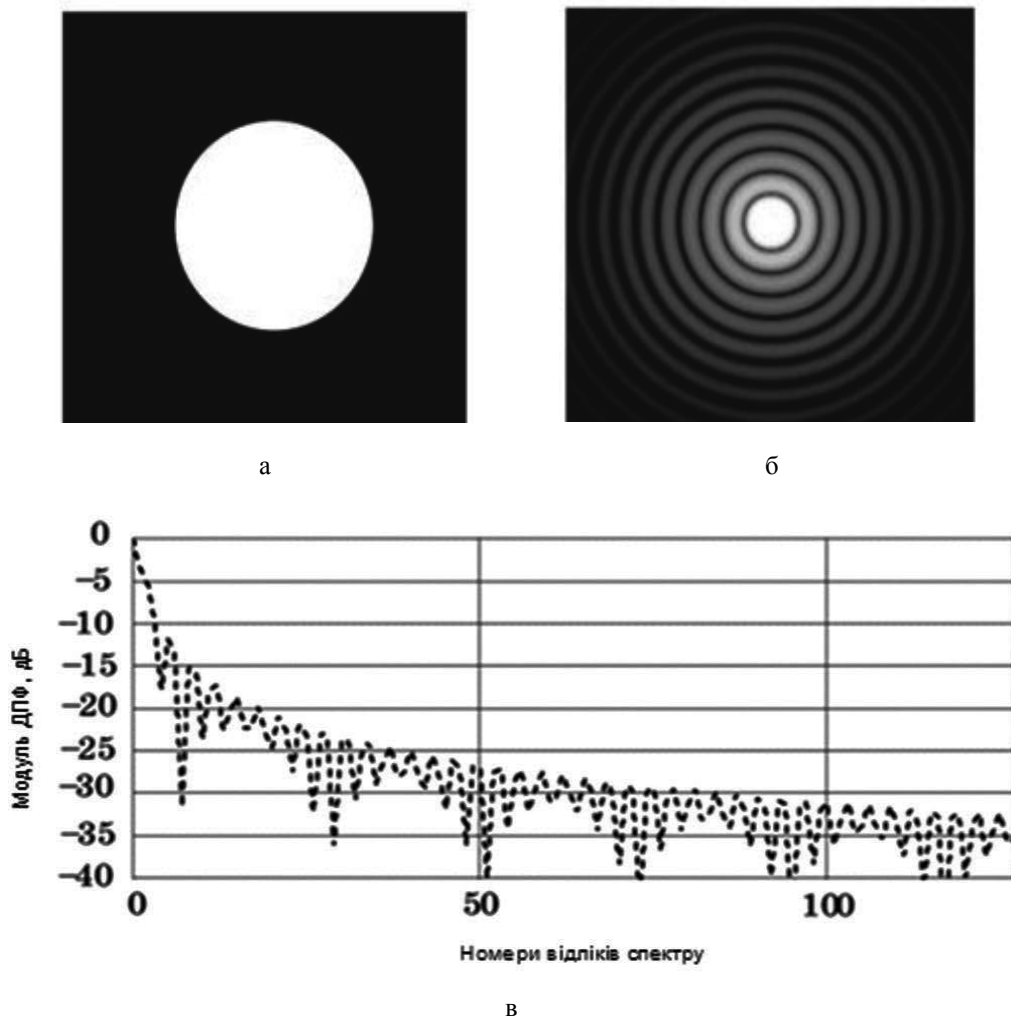


Рис. 4. Зображення, його Фур'є-образ і модуль ДПФ

Реальне ДПФ після лінійного контрастування візуально постане у вигляді яскравої білої точки на початку координат. Це видно, виходячи з аналізу модуля ДПФ, оскільки при великому радіусі кола яскравості відбувається швидке спадання до рівня бічних пелюсток. Так, максимальний бічний пелюсток менший від основного на 13,5 дБ, а це означає, що його яскравість після лінійного контрастування становитиме лише 12 одиниць від максимуму в 255.

Для прикладу, на рис. 5 представлені прості зображення еліпса, квадрата і прямокутника та їхні Фур'є-образи [7].

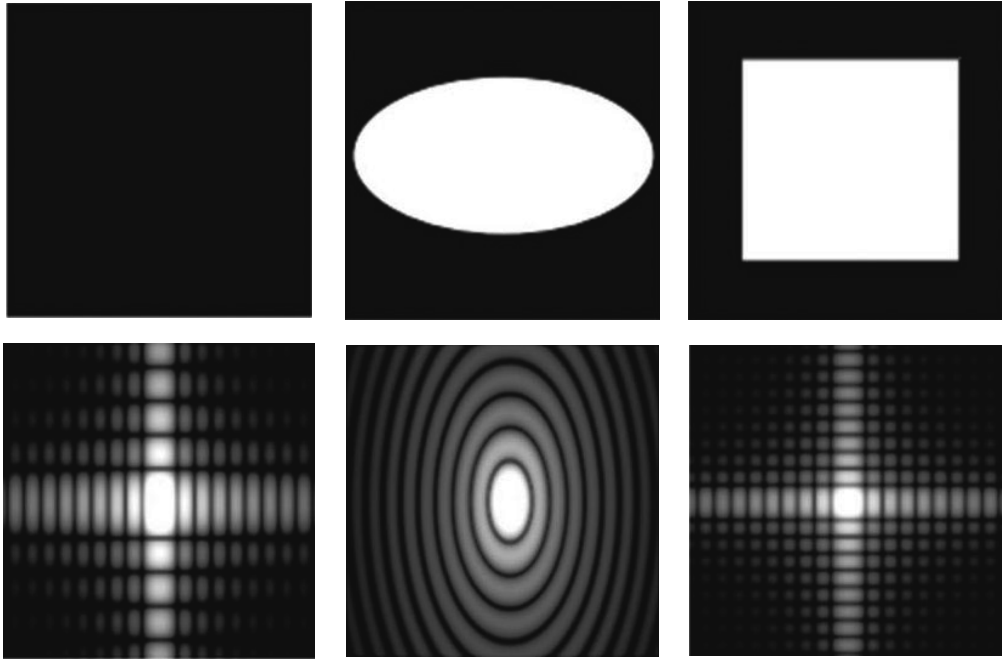
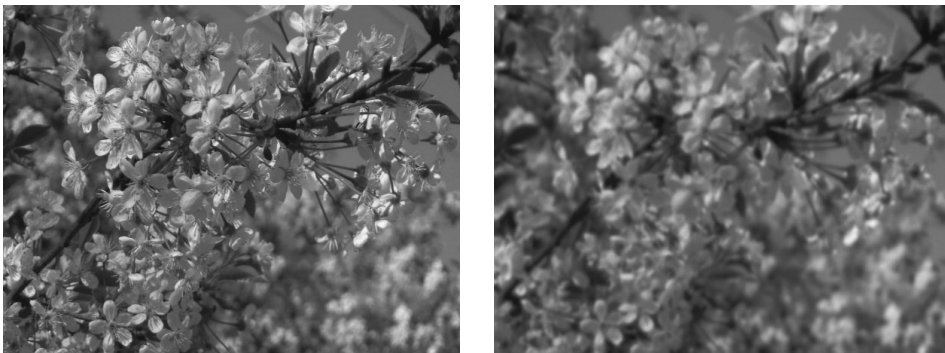


Рис. 5. Зображення простих фігур та їхніх Фур'є-образів

Виявлено, що Фур'є-образи зображень відповідають оберненим на 90 градусів вихідним зображенням. Проте зауважимо, що візуалізація Фур'є-образів найпростіших зображень у просторі може дещо повідомити про оригінальний документ, а ось візуалізація Фур'є-образів реальних зображень — тільки за певних умов і відповідного вибору параметрів візуалізації [8].

Для прикладу розглянемо, як відрізняються візуалізації логарифмів амплітудних спектрів реальних зображень. На рис. 6а і 6б відповідно представлені чітке і розмите зображення, які мають безліч дрібних деталей.



а б
Рис. 6. Деталізоване (а) та розмите (б) зображення

На рис. 7а й 7б зображені візуалізації їх амплітудних спектрів. Порівнюючи їх між собою, робимо висновок, що вищі просторові гармоніки розмитого зображення мають набагато менші значення амплітуд.

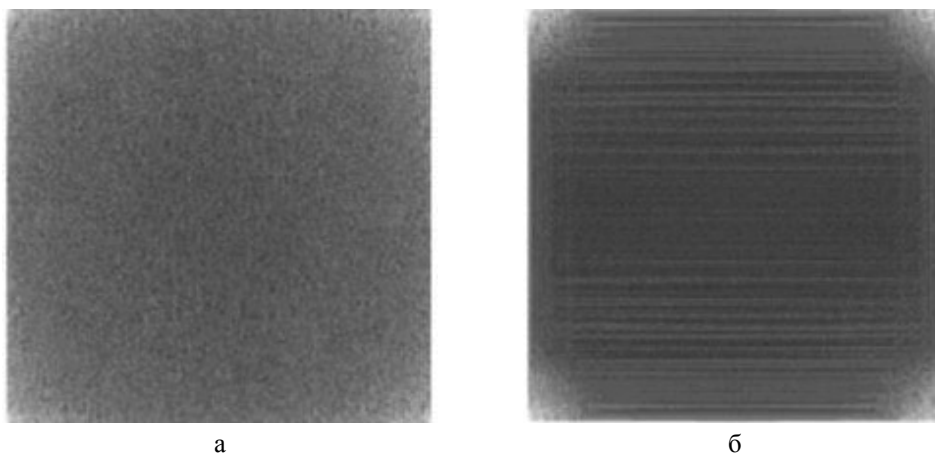


Рис. 7. Амплітудні спектри деталізованого (а) та розмитого (б) зображення

Це наочно демонструє, що загальна яскравість зображення зменшується при відфільтруванні верхніх просторових частот та призводить до зниження чіткості сприйняття дрібних деталей, що дає можливість автоматичної корекції зображення в лазерних системах виведення.

Висновки. Для того щоб сформувати якісне, зручне для аналізу зображення, доцільно попередньо визначити, які деталі зображення сприймаються особливо чітко, а які є другорядними для аналізу.

Отже, порівняльний аналіз спектрів зображень спостережуваних об'єктів і структури фону дає змогу проводити операцію фільтрації в частотній області для видалення шумів у видавничих вивідних системах лазерного типу, а також муару з утратою деталізації зображення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рыжиков М. Б. Формирование и обработка изображений в лазерных системах видения : учеб. пособ. / М. Б. Рыжиков. — СПб. : ГУАП, 2013. — 210 с.
2. Тимченко О. В. Аналіз методів формування растрових точок в системах додрукарської підготовки видань / О. В. Тимченко, Б. М. Гавриш // Комп'ютерні технології друкарства. — 2015. — № 2 (34). — С. 89–96.
3. Yang M. H. Detecting faces in images / M. H. Yang, D. J. Kriegman, N. Ahuja // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 2002. — Vol. 24. — No. 1. — P. 34–58.
4. Chen Qing. A Comparative Study of Fourier Descriptors and Hu's Seven Moment Invariants for Image Recognition / Qing Chen, Emil Petriu, Xiaoli Yang // CCECE. — 2004. — P. 0103–0106.

5. Thawar A. Object classification via geometrical, zernike and legendre moments / A. Thawar, Z. Shaaban, L. Krekor, Sami Baba // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. — 2009. — Vol. 7. — No. 1. — P. 31–37.
6. Cruz V. Invariant image recognition using a multi-network neural model / V. Cruz, G. Crictobal, T. Michaux, S. Barquin // Electronic Neurocomputers, Proc. Int. Joint Conf. Neural Networks. — 1989. — Vol. 2. — P. 17–21.
7. Pedro J. Zufiria. Extended backpropogation for invariant pattern recognition neural networks / Pedro J. Zufiria, Javier Munoz // IJCNN-93. — 1993. — Vol. 3. — P. 2097–2100.
8. Прэтт У. Цифровая обработка изображений : в 2-х кн. / У. Прэтт ; пер. с англ. — М. : Мир, 1982. — Кн. 1. — 312 с.

REFERENCES

1. Ryzhikov, M. B. (2013). Formirovanie i obrabotka izobrazheniy v lazernyih sistemah videniya. Sankt-Peterburg: GUAP (in Russian).
2. Tymchenko, O. V., & Havrysh, B. M. (2015). Analiz metodiv formuvannia rastroyvkh tochk v systemakh dodrukarskoi pidhotovky vydan. Komp'uterni tekhnologii drukarstva, 2 (34), 89–96 (in Ukrainian).
3. Yang, M. H., Kriegman, D. J., & Ahuja, N. (2002). Detecting faces in images // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 24, 1, 34–58 (in English).
4. Chen, Qing, Emil, Petriu, & Xiaoli, Yang (2004). A Comparative Study of Fourier Descriptors and Hu's Seven Moment Invariants for Image Recognition. CCECE, 0103–0106 (in English).
5. Thawar, Arif, Shaaban, Zyad, Krekor, Lala, & Sami, Baba (2009). Object classification via geometrical, zernike and legendre moments. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol. 7, 1, 31–37 (in English).
6. Cruz, V., Crictobal, G., Michaux, T., & Barquin, S. (1989). Invariant image recognition using a multi-network neural model. Electronic Neurocomputers, Proc. Int. Joint Conf. Neural Networks, Vol. 2, 17–21 (in English).
7. Pedro, J. Zufiria, & Javier, Munoz. (1993). Extended backpropogation for invariant pattern recognition neural networks. IJCNN-93, 3, 2097–2100 (in English).
8. Prett, U. (1982). Tsifrovaya obrabotka zobrazeniy. V. 1. (Vols. 1–2). Moscow: Mir (in Russian).

INFORMATION TECHNOLOGY AND IMAGE FORMING AND PROCESSING IN OUTPUT PUBLISHING SYSTEMS

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

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*

It is necessary to reduce the noise level, increase the sharpness, reduce the possibility of moire presence, i.e. to improve the quality of the image before printing for automatic processing of images in output publishing systems. It is much easier to carry out a number of methods of images analysis and processing in the transform area using the Fourier transforms in particular. The paper analyzes the method of obtaining the amplitude spectrum of images. The results of its application for images of simple shapes have been presented, the values of amplitude spectrum for blur and detailed images have been considered. The methods of automatic images processing in output publishing systems of laser type have been shown.

Keywords: *images, Fourier character, raster structure, amplitude, DFT module, visualization.*

Стаття надійшла до редакції 11.08.2016.

Received 11.08.2016.