

УДК 655.3.022:004.421:004.932

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ АРХІТЕКТУР СКЛАДНИХ ФАРБОДРУКАРСЬКИХ СИСТЕМ

Р. Р. Качур, М. І. Давидкін

*Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна*

Запропоновано метод підвищення точності розпізнавання елементів розкочувально-накочувальної групи фарбової підсистеми на основі схематичних растрових зображень фарбодрукарських систем. Якість офсетної поліграфічної продукції істотно залежить від рівномірного розподілу та передачі фарби в системі. Побудова імітаційних моделей фарбодрукарських систем вимагає точних геометричних параметрів валиків і циліндрів, отримання яких доцільно автоматизувати. Існуючі підходи до розпізнавання елементів фарбодрукарських систем не забезпечують достатньої точності виявлення компонентів системи. У випадку складних зображень з'являються характерні помилки: некоректні значення радіусів, концентричні кола та хибні розпізнавання літер як елементів системи. Для усунення цих недоліків розроблено метод фільтрацій та корегування результатів розпізнавання, який включає: радіальне сканування для корегування радіусів кіл; пропорційне масштабування для усунення штучних перетинів сусідніх кіл; виявлення концентричних кіл, що відповідають одному фізичному елементу системи; багатокритеріальної фільтрації текстових символів за відносним розміром, товщиною контуру та локальним розташуванням сусідніх компонентів.

Запропонований метод реалізовано у вигляді програмного модуля та апробовано на наборі тестових зображень фарбодрукарських систем різної структури. Результати підтверджують підвищення точності розпізнавання та забезпечують основу для подальшої автоматизації процесу визначення параметрів елементів офсетних друкарських машин.

Ключові слова: *офсетний друк, фарбодрукарська система, імітаційне моделювання, автоматизація, комп'ютерний зір, растрове зображення, цифрова обробка зображень, топологічний аналіз, розпізнавання об'єктів.*

Постановка задачі. Дослідження фарбодрукарських систем охоплює складну взаємодію фарби з поверхнями валиків і циліндрів, архітектуру та геометрію елементів системи, режими роботи фарбоживильного пристрою та інші. Дослідження фарбодрукарських систем є актуальним завданням, якому присвячено достатня кількість наукових публікацій. Так у працях [1, 2, 3] шляхом імітаційного моделювання досліджуються процеси передачі та

розподілу фарби елементами фарбодрукарських систем різних структур. Побудова таких імітаційних симуляторів є трудомістким завданням та вимагає значних часових затрат. З метою автоматизації процесу побудови симуляторів фарбодрукарських систем опубліковано низку праць [4, 5, 6]. Зокрема у праці [6] пропонується інформаційна система для розпізнавання елементів розкочувально-накочувальної групи фарбової підсистеми на основі схематичного зображення фарбодрукарської системи. Під час побудови імітаційної моделі враховуються: архітектура фарбодрукарської системи, розміщення, кількість та геометричні розміри елементів, що входять до її складу. Зображення фіксує лише візуальне відображення системи, а не метричні характеристики. Для побудови імітаційної моделі необхідне параметричне описання системи, у якому кожен елемент задається своїми геометричними параметрами. У праці [6] така задача вирішується шляхом топологічного контурного аналізу зображення, з попередньою його бінаризацією методом адаптивного порогування. Підхід описаний у праці [6] є ефективним для розпізнавання простих послідовних схем, з невеликою кількістю елементів на зображенні. Проте стилістично схеми фарбодрукарських систем можуть значно відрізнятися, як за складністю, так і якістю. Тому для підвищення точності розпізнавання у даній праці пропонується спеціалізований метод фільтрації та коригування його результатів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Розпізнавання геометричних примітивів, зокрема кіл, на растрових зображеннях є фундаментальною задачею комп'ютерного зору, якій присвячено значну кількість наукових праць. Основу більшості сучасних методів контурного аналізу складає підхід, запропонований у [10], де описано алгоритм відстеження меж об'єктів на двійкових зображеннях шляхом топологічного структурного аналізу.

Для уточнення параметрів кіл із зашумленими або спотвореними контурами у праці [11] запропоновано багаторівневий підхід до оцінки підпіксельних параметрів. Метод поєднує апроксимаційні етапи з нелінійним наближенням за методом найменших квадратів та забезпечує більш точне визначення центра і радіуса порівняно з класичним перетворенням Хафа. Альтернативний підхід наведено у [12], де виявлення кіл здійснюється на основі випадкової вибірки рівнобічних трикутників, утворених із точок контуру об'єкта. Експериментально продемонстровано, що підхід потребує значно меншої кількості ітерацій порівняно з випадковим перетворенням Хафа, має низький показник похибок і є стійким до шуму.

Інкрементну модифікацію класичного перетворення Хафа продемонстровано у праці [13]. Зменшення розмірності параметричного простору з трьох до двох вимірів істотно знижує обчислювальні витрати, що особливо актуально для зображень з великою кількістю кіл та обмежених апаратних ресурсів.

Окрім цього, серед актуальних задач комп'ютерного зору є розпізнавання та сегментація елементів у складі технічних кресленнях та схемах. У праці [7] узагальнено сучасні тенденції в галузі цифровізації складних інженерних креслень та описано процедури виявлення символів і їх відокремлення від графічних примітивів на основі аналізу зв'язних компонент і геометричних обмежень розмірів.

Якість бінаризації безпосередньо впливає на точність подальшого виділення контурів. У праці [8] описано адаптивний метод порогування з використанням інтегрального зображення, що дозволяє ефективно обробляти зображення з нерівномірним освітленням за лінійної обчислювальної складності відносно кількості пікселів. Дослідження [9] розвиває цю концепцію, пропонуючи автоматичний підбір розміру блоку «block size» для адаптивної бінаризації зображень технічних схем. Запропонований у праці [9] підхід виявився більш стійким до шуму та артефактів сканування порівняно з класичними методами бінаризації, що забезпечує збереження дрібних деталей схеми без застосування фільтрів розмивання.

Незважаючи на широкий спектр методів комп'ютерного зору, у задачі автоматичного розпізнавання елементів фарбодрукарських систем виникають специфічні труднощі, пов'язані зі стилістичною неоднорідністю схем. Таким чином, розроблення методів, що враховують особливості схематичних зображень фарбодрукарських систем, залишається актуальним завданням.

Мета статті – розробка методу підвищення точності розпізнавання елементів розгалужених фарбодрукарських систем на растрових зображеннях їх архітектур.

Виклад основного матеріалу дослідження. На багатьох схематичних зображеннях фарбодрукарських систем валики і циліндри можуть подаватися з відносно товстою обводкою (рис. 1). За такої стилізації мінімальне описуюче коло, отримане за результатом контурного аналізу, відповідає внутрішньому краю обведення, тоді як фізична межа елемента знаходиться на її зовнішньому краю. У результаті визначений радіус виявляється заниженим на величину товщини обведення, а між сусідніми елементами утворюється штучний проміжок, що спотворює топологію системи та унеможливорює коректне визначення параметрів.

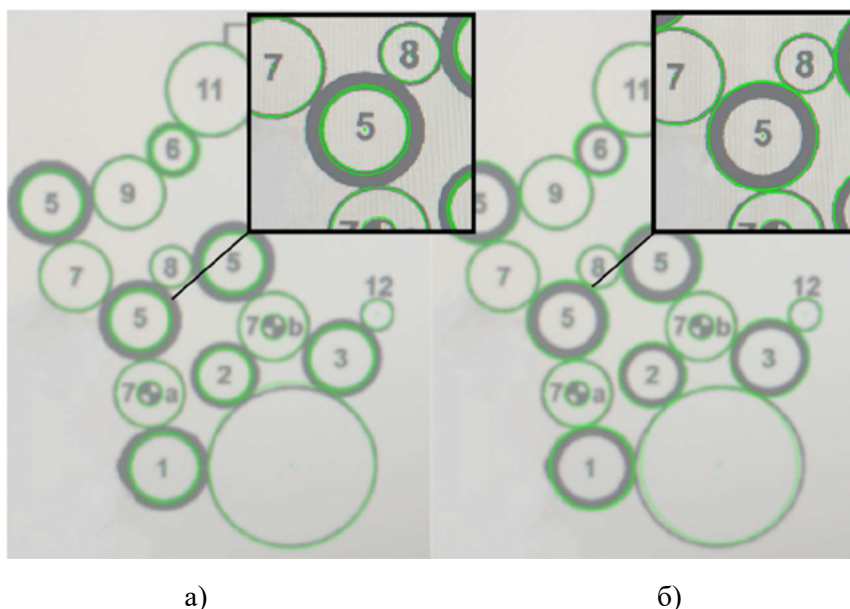


Рис. 1 Растрове схематичне зображення фарбодрукарської системи: до коригування радіусів (а); після (б).

У вхідному наборі кожне коло має наступний вигляд:

$$c_i = (x_i, y_i, r_i), i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

де (x_i, y_i) – координати центра кола; r_i – радіус кола; n – загальна кількість кіл. Для усунення цього недоліку запропоновано алгоритм радіального сканування контуру. Замість обходу всього периметра з центра кожного кола (x_i, y_i) випускається набір з $N = 24$ променів, рівномірно розподілених за кутом:

$$\theta_k = \frac{2\pi k}{N}, k = 0, 1, \dots, N - 1. \quad (2)$$

Уздовж кожного променя послідовно перевіряється яскравість пікселів у точках, віддалених від центра на $(r_i + \Delta r)$, де $\Delta r \in \{1, 2, \dots, \Delta r_{\max}\}$ – цілочисельний приріст радіуса. Глибина сканування обмежена 80% поточного радіуса + 1, що гарантує наявність кількох кроків сканування навіть для малих кіл:

$$\Delta r_{\max} = \lfloor 0.8r_i \rfloor + 1. \quad (3)$$

Поріг розрізнення між темним пікселем обведення та світлим фоном встановлюється рівним $t = 128$ (середина шкали інтенсивності 0-255). На кожному кроці сканування перевіряється інтенсивність $G[p_y, p_x]$ у поточній точці променя: якщо вона нижче порога, фіксується нове значення граничного радіуса $R_k = r_i + \Delta r$ і сканування продовжується далі; інакше промінь зупиняється, оскільки вихід у світлу область свідчить про досягнення зовнішньої межі обведення. Після завершення обходу всіх N променів

скоригований радіус кола обчислюється як середнє арифметичне отриманих граничних значень. Усереднення компенсує локальні дефекти контуру та незначні відхилення від ідеальної форми кола. Якщо жоден промінь не виявив темних пікселів за межами початкового радіуса, корекція не виконується.

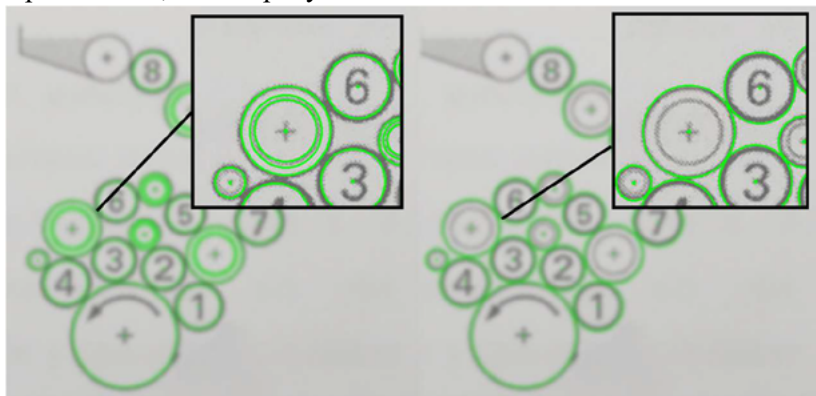
У процесі розпізнавання кіл, у тому числі після коригування радіусів, може виникнути ситуація коли сусідні кола починають взаємно перетинатися. Перетин пари кіл (i, j) визначається за умовою:

$$r_i + r_j > d_{ij}; d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad (4)$$

Коли пара кіл перетинається і не є вкладеною, обидва радіуси пропорційно зменшуються відповідно до коефіцієнта масштабування:

$$s = \frac{d_{ij}}{r_i + r_j}, s < 1, \quad (5)$$

Скориговані радіуси набувають значень $r'_i = r_i \cdot s$ та $r'_j = r_j \cdot s$, що геометрично гарантує дотик кіл в одній точці, оскільки $r'_i + r'_j = (r_i + r_j) \cdot s = d_{ij}$. Пропорційність масштабування зберігає відносні розміри елементів пари, а отриманий результат відповідає фізичній моделі контакту валиків і циліндрів. Корекція виконується послідовно для всіх пар кіл, у яких виявлено перетин. При розпізнаванні кіл на зображеннях фарбодрукарських систем одному елементу можуть відповідати декілька кіл зі схожими координатами центра, але різними радіусами (рис. 2). Причина цього у відмінності стилізації схем. Валики та циліндри зображуються або тонкою лінією, або товстою обводкою, або подвійним концентричним контуром. В останніх двох випадках оболонка валика сегментується як набір окремих замкнених контурів, кожен з яких самостійно проходить перевірки за площею та округлістю й отримує власне описуюче коло. Як наслідок, одному фізичному елементу відповідає кілька концентричних кіл, що потребують подальшого об'єднання.



а)

б)

Рис. 2 Растрове схематичне зображення фарбодрукарської системи: до видалення концентричних кіл (а); після (б).

Виявлення таких випадків виконується попарним порівнянням усіх кіл вихідної множини. Загальна кількість пар, для яких необхідна перевірка, дорівнює $N = M \cdot (M - 1) / 2$, де M – загальна кількість кіл. Пара (i, j) класифікується як концентрична, якщо відстань між центрами менша за частку меншого радіуса пари:

$$d_{ij} > 0.7 \cdot \min(r_i, r_j). \quad (6)$$

Поріг $0,7$ встановлено емпірично та відповідає випадкам, коли центри кіл практично збігаються з урахуванням похибок виявлення. Із кожної концентричної пари у вихідній множині залишається коло з більшим радіусом, що відповідає реальному елементу системи.

Схематичні зображення можуть містити не лише елементи фарбодрукарської системи, але й текстові позначення. Замкнені контури літер «о», «О», цифр «0», «6», «9» мають достатньо високий коефіцієнт округлості та можуть проходити попередні фільтри, що призводить до хибної класифікації таких символів як елементів системи (рис. 3).

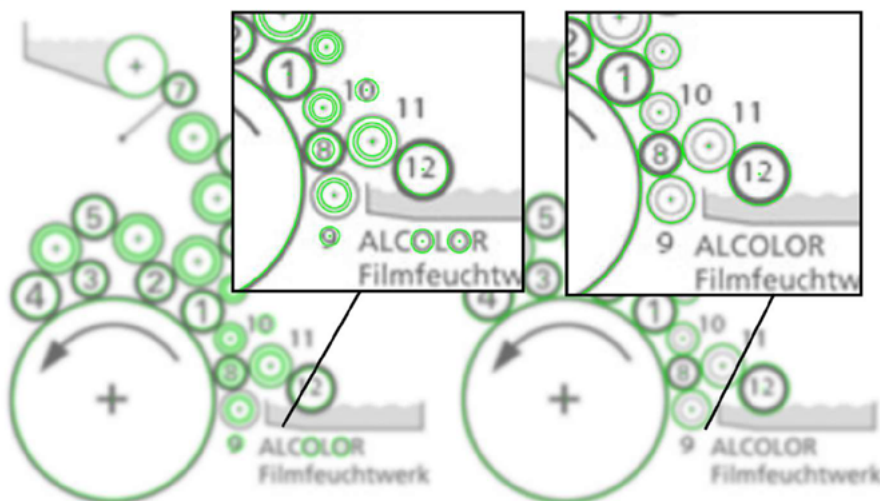


Рис. 3 Растрове схематичне зображення фарбодрукарської системи: до фільтрації символів (а); після (б).

Для розрізнення реальних елементів системи від текстових символів використовується трирівнева перевірка, побудована на типових ознаках символу: значно менший розмір порівняно з валиками та циліндрами, тонкий штрих контуру шрифту, а також розташування у горизонтальному рядку з іншими дрібними символами того ж шрифту. На першому рівні обчислюється

відносний радіус кола як відношення його радіуса до медіани радіусів усіх кіл системи $\tilde{r} = \text{median}\{r_1, \dots, r_n\}$:

$$p_i = \frac{r_i}{\tilde{r}}. \quad (7)$$

Якщо $p_i \geq 0,55$, коло класифікується як реальний елемент системи. Кола з меншим радіусом передаються на наступну перевірку як потенційні кандидати на видалення.

На другому рівні оцінюється товщина контуру шляхом радіального сканування. Уздовж кожного променя підраховується кількість пікселів з інтенсивністю, нижчою за поріг ($I < 128$), після чого обчислюється середнє значення по усіх променях:

$$\bar{d} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N d_k, \quad (8)$$

де d_k – кількість темних пікселів, виявлених на k -тому промені.

Емпірично встановлений поріг $\bar{d} > 7$ приблизно відповідає товщині стінки понад 15% радіуса, що дозволяє віднести коло до реальних елементів системи. Кола з тонкою стінкою ($\bar{d} \leq 7$) переходять на наступний рівень перевірки.

На третьому рівні для кіл з тонкою стінкою виконується пошук горизонтальних сусідніх літер. Коло c_j вважається сусідньою літерою для поточного кола c_i , якщо виконуються наступні умови:

$$|y_j - y_i| < 3r_i, r_j < 0.55\tilde{r}, |x_j - x_i| < 15r_i, \quad (9)$$

Перша умова обмежує вертикальне зміщення сусіднього кола, який має знаходитись на тому ж текстовому рядку, що й c_i . Друга умова ($r_j < 0.55\tilde{r}$) гарантує, що сусіднє коло за розміром є недостатнім, щоб вважати його реальним елементом системи. Третя умова обмежує горизонтальну відстань, сусіднє коло повинно знаходитись в межах 15 радіусів від поточного кола. За наявності хоча б одного такого сусіднього кола c_i класифікується як літера у складі тексту. У випадку відсутності сусідніх кіл застосовується наступний критерій: якщо $p_i < 0.25$, коло видаляється як ізольований текстовий символ; інакше зберігається як реальний елемент системи з тонким обведенням.

Для оцінки ефективності розробленого методу виконано експериментальне порівняння розпізнавання до та після застосування підходів продемонстрованих у даній роботі. Дослідження проведено на восьми тестових зображеннях фарбодрукарських систем, що відрізняються за

стилістикою (рукописні ескізи, векторні креслення, скани, фотографія, та інші). Результати подано на рисунку 4.

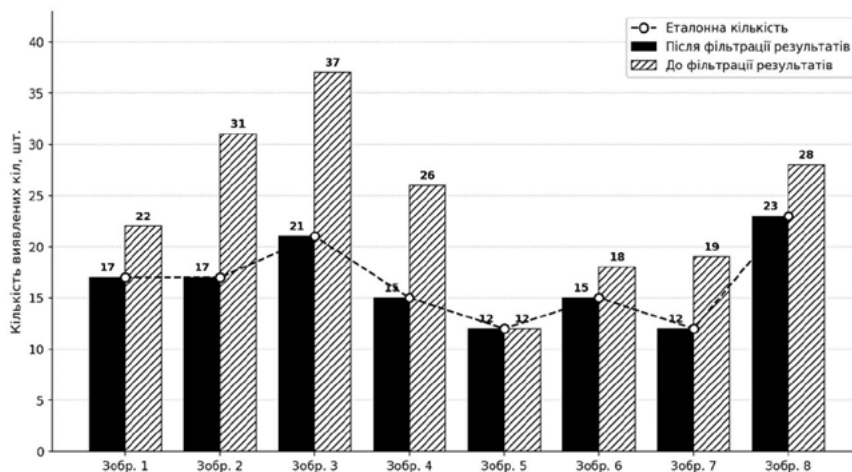


Рис. 4 Кількість розпізнаних елементів фарбодрукарської системи до та після коригування результатів розпізнавання.

Як видно, без фільтрації кількість виявлених об'єктів у середньому на 46,2% перевищує еталонну, натомість після застосування запропонованого підходу результати детекції збігаються з еталонними значеннями. Найбільша кількість хибних детекцій спостерігається на зображеннях де елементи системи подаються із товстою або концентричною обводкою (зобр. 2; зобр. 3), та на зображеннях з текстовими позначеннями (зобр. 1, 6, 7, 8). Сумарно застосування фільтрації знижує кількість виявлених об'єктів зі 193 до 132 (–31,6%), а середня точність розпізнавання зростає з 0,68 до 1,00.

Висновки. Розроблено метод підвищення точності розпізнавання елементів фарбоживильного пристрою, розкочувально-накочувальної групи, формного, офсетного та друкарських циліндрів фарбодрукарських систем складної структури на основі растрових зображень їх архітектур. Метод включає пропорційне масштабування для усунення штучних перетинів сусідніх кіл, виявлення концентричних кіл елементу, а також фільтрацію текстових символів. Результати підтверджують підвищення точності розпізнавання елементів, і можуть бути використані для подальшої автоматизації процесу визначення конструктивних параметрів елементів фарбодрукарських систем.

Список використаних джерел

1. Верхола М. І., Гук І. Б., Калитка М. І. Моделювання та дослідження впливу розтиральних циліндрів на розподіл потоків фарби у фарбодрукарській системі розгалуженої структури. Поліграфія і видавнича справа.

- Українська академія друкарства, Львів: 2019/2(78), с. 16-26. URL: <https://doi.org/10.32403/0554-4866-2019-2-78-16-26>.
2. Верхола М. І., Калитка М. І., Бабич О. Є., Калитка В. М. Побудова імітаційної моделі та дослідження розподілу потоків фарби у фарбодрукарській системі складної структури. Комп'ютерні технології друкарства. Українська академія друкарства, Львів: 2022/2(48). с. 8–24. URL: <https://doi.org/10.32403/2411-9210-2022-2-48-8-24>.
 3. Верхола М. І., Угрин Я. М., Качур Р. Р., Давидкін М. І. Моделювання та аналіз двопотокової фарбодрукарської системи офсетного типу. Комп'ютерні технології друкарства. Українська академія друкарства, Львів: 2024/1(51). с. 222–240. URL: <https://doi.org/10.32403/2411-9210-2024-1-51-222-240>.
 4. Давидкін М. І. Метод визначення напрямків обертання елементів фарбодрукарської системи. Scientific Papers. 2025. № 2 (71). С. 277–283. URL: <https://doi.org/10.32403/1998-6912-2025-2-71-277-283>.
 5. Давидкін М. І. Метод визначення позицій валиків і циліндрів у фарбодрукарській системі послідовно-паралельної структури. Комп'ютерні технології друкарства. УАД. 2025. Вип. 1 (53). С. 78–87. URL: <https://doi.org/10.32403/2411-9210-2025-1-53-78-87>.
 6. Качур Р. Р., Давидкін М. І. Розроблення інформаційної системи для розпізнавання елементів розкочувально-накочувальної групи фарбової підсистеми. Комп'ютерні технології друкарства. Українська академія друкарства, Львів: 2024/2(52), с. 38-49. URL: <https://doi.org/10.32403/2411-9210-2024-2-52-1-38-49>.
 7. Moreno-García C. F., Elyan E., Jayne C. New trends on digitisation of complex engineering drawings. Neural Computing and Applications. 2019. Vol. 31, No. 6. P. 1695–1712. URL: <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3583-1>.
 8. Bradley D., Roth G. Adaptive thresholding using the integral image. Journal of Graphics Tools. 2007. Vol. 12, No. 2. P. 13–21. URL: <https://doi.org/10.1080/2151237X.2007.10129236>.
 9. Badanyuk I., Nevliudov I., Nikitin D. Topological image processing for comprehensive defect and deviation analysis using adaptive binarisation. Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. 2023. Vol. 23, No. 1. P. 164–173. URL: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2023.23.164>.
 10. Suzuki S., Abe K. Topological structural analysis of digitized binary images by border following. Computer Vision, Graphics, and Image Processing. 1985. Vol. 30, No. 1. P. 32–46. URL: [https://doi.org/10.1016/0734-189X\(85\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0734-189X(85)90016-7).
 11. Mairesse F., Sliwa T., Binczak S., Voisin Y. Subpixel determination of imperfect circles characteristics. Pattern Recognition. 2008. Vol. 41, No. 1. P. 250–271. URL: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2007.03.010>.
 12. Zhang H., Wiklund K., Andersson M. Circle detection using isosceles triangles sampling. Computer Vision and Pattern Recognition. 2015. arXiv:1511.00461. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1511.00461>.

13. Chen Y., Liu L., Zhang Y. Incremental circle Hough transform: An improved method for circle detection. *Optik*. 2017. Vol. 144. P. 87–96. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.06.097>.

References

1. Verkhola M. I., Huk I. B., Kalytka M. I. Modeliuvannia ta doslidzhennia vplyvu roztyralnykh tsylindriv na rozpodil potokiv farby u farbodrukarskii systemi rozghaluzhenoi struktury. *Polihrafiia i vydavnycha sprava. Ukrainska akademiia drukarstva*, Lviv: 2019/2(78), s. 16-26. URL: <https://doi.org/10.32403/0554-4866-2019-2-78-16-26>.
2. Verkhola M. I., Kalytka M. I., Babych O. Ye., Kalytka V. M. Pobudova imitatsiinoi modeli ta doslidzhennia rozpodilu potokiv farby u farbodrukarskii systemi skladnoi struktury. *Kompiuterni tekhnolohii drukarstva. Ukrainska akademiia drukarstva*, Lviv: 2022/2(48), s. 8–24. URL: <https://doi.org/10.32403/2411-9210-2022-2-48-8-24>.
3. Verkhola M. I., Uhryn Ya. M., Kachur R. R., Davydkin M. I. Modeliuvannia ta analiz dvopotokovoï farbodrukarskoï systemy ofsetnoho typu. *Kompiuterni tekhnolohii drukarstva. Ukrainska akademiia drukarstva*, Lviv: 2024/1(51), s. 222–240. URL: <https://doi.org/10.32403/2411-9210-2024-1-51-222-240>.
4. Davydkin M. I. Metod vyznachennia napriamkiv obertannia elementiv farbodrukarskoï systemy. *Scientific Papers*. 2025. № 2 (71). S. 277–283. URL: <https://doi.org/10.32403/1998-6912-2025-2-71-277-283>.
5. Davydkin M. I. Metod vyznachennia pozytsii valykyv i tsylindriv u farbodrukarskii systemi poslidovno-paralelnoi struktury. *Kompiuterni tekhnolohii drukarstva. UAD*. 2025. Vyp. 1 (53). S. 78–87. URL: <https://doi.org/10.32403/2411-9210-2025-1-53-78-87>.
6. Kachur R. R., Davydkin M. I. Rozroblennia informatsiinoi systemy dlia rozpoznavannia elementiv rozkochuvalno-nakochuvalnoi hrupy farbovoi pidsystemy. *Kompiuterni tekhnolohii drukarstva. Ukrainska akademiia drukarstva*, Lviv: 2024/2(52), s. 38-49. URL: <https://doi.org/10.32403/2411-9210-2024-2-52-1-38-49>.
7. Moreno-García C. F., Elyan E., Jayne C. New trends on digitisation of complex engineering drawings. *Neural Computing and Applications*. 2019. Vol. 31, No. 6. 1
8. Bradley D., Roth G. Adaptive thresholding using the integral image. *Journal of Graphics Tools*. 2007. Vol. 12, No. 2. P. 13–21. URL: <https://doi.org/10.1080/2151237X.2007.10129236>.
9. Badanyuk I., Nevliudov I., Nikitin D. Topological image processing for comprehensive defect and deviation analysis using adaptive binarisation. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2023. Vol. 23, No. 1. P. 164–173. URL: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2023.23.164>.
10. Suzuki S., Abe K. Topological structural analysis of digitized binary images by border following. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*. 1985. Vol. 30, No. 1. P. 32–46. URL: [https://doi.org/10.1016/0734-189X\(85\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0734-189X(85)90016-7).

11. Mairesse F., Sliwa T., Binczak S., Voisin Y. Subpixel determination of imperfect circles characteristics. *Pattern Recognition*. 2008. Vol. 41, No. 1. P. 250–271. URL: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2007.03.010>.
12. Zhang H., Wiklund K., Andersson M. Circle detection using isosceles triangles sampling. *Computer Vision and Pattern Recognition*. 2015. arXiv:1511.00461. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1511.00461>.
13. Chen Y., Liu L., Zhang Y. Incremental circle Hough transform: An improved method for circle detection. *Optik*. 2017. Vol. 144. P. 87–96. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.06.097>.

DOI 10.32403/2411-9210-2026-1-55-38-49

METHOD FOR IMPROVING THE RECOGNITION ACCURACY OF COMPLEX INK-PRINTING SYSTEM ARCHITECTURES

R. R. Kachur, M. I. Davydkin
*Lviv Polytechnic National University,
12 S. Bandera Street, Lviv, 79013, Ukraine*

A method has been developed to improve the accuracy of identifying components of the inking unit in an offset printing system based on schematic raster images of the inking system. The quality of offset printed products depends significantly on the uniform distribution and transfer of ink within the system. The construction of simulation models of ink printing systems requires precise geometric parameters of rollers and cylinders, the acquisition of which should be automated. Existing approaches to recognizing elements of ink printing systems do not provide sufficient accuracy in identifying system components. In the case of complex images, characteristic errors arise: incorrect radius values, concentric circles, and false recognition of letters as system elements.

To address these shortcomings, a method for filtering and correcting recognition results has been developed, which includes: radial scanning to correct circle radii; proportional scaling to eliminate artificial intersections of adjacent circles; detection of concentric circles corresponding to a single physical system element; multi-criteria filtering of text characters based on relative size, contour thickness, and the local arrangement of adjacent components.

The proposed method has been implemented as a software module and tested on a set of test images of inkjet printing systems with various structures. It has been demonstrated that without filtering, the number of detected objects exceeds the reference value by an average of 46.2%, whereas after applying the proposed method, the detection results match the reference values. Overall, the application of filtering reduces the number of detected objects from 193 to 132 (–31.6%), while the

average recognition accuracy increases from 0.68 to 1.00. The results confirm the improvement in recognition accuracy and provide a basis for further automation of the process of determining the parameters of offset printing press components.

Keywords: *offset printing, inkjet printing system, simulation modeling, automation, computer vision, raster image, digital image processing, topological analysis, object recognition.*

Стаття надійшла до редакції 30.04.2026

Received 30.04.2026