УДК 004.8

Лянськорунський К.О., Молчанова М.О.

Хмельницький національний університет

АЛГОРИТМ СЕГМЕНТАЦІЇ ПРИНТІВ ЗАСОБАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ШОВКОГРАФІЇ

Описано нейромережевий алгоритм сегментації принтів для шовкографського друку, спрямований на автоматичне відокремлення зображення принта від фону тканини, складок, тіней та сторонніх артефактів. Запропонований каскадний підхід поєднує попереднє грубе виділення області «принт/фон» на основі моделей SAM-подібного класу з подальшою деталізованою багатокласовою сегментацією елементів принта з орієнтацією на цілісність контурів. Навчання здійснюється на спеціалізованому датасеті з полігональною розміткою ключових елементів із використанням аугментацій та функції втрат, чутливої до розривів контурів. Експериментальні результати показали зменшення обсягу ручної дорисовки масок та підвищення стабільності виділення дрібних деталей і якості подальшого кольороподілу й масштабування, що створює основу для побудови повністю цифрового препрес-конвеєра «фото принта – набір трафаретів».

This paper presents a neural network-based segmentation algorithm for screen-print artwork, aimed at automatically separating the print from the fabric background, folds, shadows and other artefacts. The proposed cascaded approach combines an initial coarse «print/background» separation using SAM-like segmentation models with a subsequent detailed multi-class segmentation of print elements focused on contour integrity. Training is performed on a specialised dataset of print photographs with polygonal annotations of key elements, employing extensive data augmentation and a loss function penalising contour fragmentation. Experimental results demonstrate reduced manual mask editing, more stable extraction of fine details and improved quality of downstream colour separation and scaling, thus forming a foundation for a fully digital prepress pipeline from print photo to a set of screen-printing stencils.

Цифрова підготовка макетів до шовкографського друку потребує не лише високої роздільної здатності зображення, а й коректного відокремлення принта від фону тканини, складок, тіней та сторонніх об'єктів [1]. Ручна векторизація або маскування призводять до значних трудовитрат і суб'єктивних похибок, особливо для складних багатокольорових принтів із дрібними деталями [2]. Класичні порогові та контурні методи сегментації виявляються нестійкими до варіацій освітлення, текстури тканини, спотворень при фотографуванні та шумів. Це зумовлює потребу в спеціалізованому алгоритмі сегментації принтів, побудованому на моделях штучного інтелекту та орієнтованому на вимоги шовкографії: чіткі контурно-стабільні маски, узгоджені з подальшим кольороподілом і формуванням друкарських шарів [3].

Актуальність автоматизованої сегментації принтів для шовкографічного друку зумовлена стрімким переходом текстильного виробництва до цифрових робочих процесів [4], де ключовими вимогами є швидкість, висока точність та мінімізація ручної праці. Традиційні методи підготовки принтів передбачають значний обсяг ручної дорисовки контурів, ретушування фону та відокремлення дрібних графічних елементів, що істотно сповільнює препрес-етап і створює високу залежність від кваліфікації оператора. Оскільки цифрові принти часто знімаються без контрольованих умов освітлення, містять складки тканини, тіні, зміни фактури та сторонні артефакти, класичні алгоритми сегментації демонструють нестабільність і не забезпечують потрібного ступеня точності для подальшого кольороподілу й створення трафаретів. Це формує запит на застосування сучасних інструментів комп'ютерного зору [5], які здатні працювати з реальними неконтрольованими даними та адаптуватися до варіативності матеріалів і стилістики графічних композицій.

Застосування згорткових нейронних мереж [6] та похідних архітектур [7] у сфері текстильних технологій відкриває принципово нові можливості для побудови автоматизованих виробничих конвеєрів. CNN-моделі [8] та трансформерні сегментатори [9] демонструють високу здатність до узагальнення складних візуальних патернів, що робить їх ефективними для завдань, де межа між принтом і фоном може бути нечіткою, а контури елементів – тонкими або частково перекритими [10, 11]. Завдяки вбудованій інваріантності до афінних перетворень та здатності вловлювати просторові залежності між пікселями, такі моделі дозволяють долати проблеми нерівномірного освітлення, зміни фактури тканини й локальних деформацій [12], які традиційно є критичними для шовкографічної підготовки. Успішні результати застосування моделей сегментації у суміжних сферах – медичній візуалізації, аналізі сцен, об'єктному трекінгу [13, 14] – підтверджують їх потенціал для опрацювання текстильних зображень, де важливими є як точність контурів, так і структурна цілісність.

У контексті сегментації принтів для шовкографії особливої значущості набувають моделі, здатні працювати в каскадному режимі: від початкового грубого відокремлення принта від фону до високоточних процедур багатокласового розбиття на структурні компоненти [15]. Використання алгоритмів SAM-подібного класу на першому етапі забезпечує стійке виділення області інтересу навіть за наявності шумів та неоднорідного фону, що створює надійну основу для подальшої деталізації. Другий етап, заснований на CNN або гібридних архітектурах із трансформерами, дозволяє глибоко аналізувати взаємне розташування елементів принта, виявляти їхні межі та відновлювати тонкі лінії, які є критично важливими для коректної побудови трафаретів [16]. Такий підхід не лише скорочує потребу в ручному коригуванні масок, а й підвищує відтворюваність результатів, що має ключове значення для масштабного виробництва та стандартизованих робочих процесів [17].

Запровадження нейромережевих методів у препрес-процеси текстильного дизайну дозволяє переосмислити традиційні практики та перейти від напівручних способів підготовки до повністю автоматизованих систем. Алгоритми глибинного навчання створюють передумови для побудови цифрового циклу «фото принта – сегментація – кольороподіл – набір трафаретів» без втручання оператора, що радикально зменшує часові та ресурсні витрати [18]. Більше того, адаптивність сучасних моделей уможливлює перенавчання на конкретні стилі, типи тканин або художні техніки, що розширює сферу застосування та забезпечує високу універсальність. Таким чином, комп'ютерний зір та методи глибинної сегментації становлять фундамент для нового покоління інструментів цифрової шовкографії, де точність, автоматизація та стабільність обробки є визначальними факторами технологічного прогресу.

Метою роботи є розроблення нейромережевого алгоритму сегментації принтів для шовкографського друку, який забезпечує автоматичне формування контурно-стабільних масок принта, стійких до змін умов зйомки та властивостей тканини-носія. Алгоритм розглядається як базовий елемент препрес-конвеєра, що передує масштабуванню, кольороподілу та генерації трафаретів, і повинен забезпечувати технологічно коректні границі, придатні для побудови окремих друкарських шарів.

Запропонований підхід поєднує каскадну схему сегментації з використанням глибинних нейромереж. На першому етапі виконується грубе відділення області принта від фону тканини за допомогою попередньо натренованих моделей сегментації, типу SAM-подібних архітектур, які працюють із зображеннями, отриманими в реалістичних умовах (змінне освітлення, складки, шум). Результатом є маска «принт/фон», що очищує сцену від зайвих елементів та обмежує подальшу обробку робочою областю. На другому етапі в межах цієї області застосовується деталізована сегментація елементів принта з орієнтацією на контури: використовується багатокласова або багатомаскова модель, яка виділяє основні кольорові області та структурні фрагменти, забезпечуючи цілісність замкнених контурів і коректне відокремлення дрібного штриха.

Навчання алгоритму базується на спеціалізованому наборі даних, що містить оригінальні фотографії принтів на тканині з розміткою «принт/фон» та детальними полігональними масками ключових елементів. Для підвищення стійкості до варіацій умов зйомки застосовуються аугментації (зміни яскравості, контрасту, колірних відтінків, перспективні спотворення, додавання шуму). Функція втрат поєднує піксельно-орієнтовані метрики з додатковими штрафами за фрагментацію контурів або розриви замкнених областей, що відповідає вимогам трафаретного друку до безперервності друкарських елементів.

На етапі інференсу реалізовано тайлування з перекриттям, що дає змогу обробляти великі зображення принтів без втрати локальної деталізації. Маски, отримані для окремих тайлів, агрегуються із згладжуванням у зонах перекриття; додатково застосовується контурно-орієнтована морфологічна постобробка для

усунення дрібних «дір» та шумових артефактів. За потреби формується скорочений набір масок: глобальна маска принта для подальшого масштабування та відокремлені маски основних кольорових шарів, придатні до прямого використання в модулі кольороподілу.

Експериментальна перевірка алгоритму на корпоративному наборі принтів засвідчила, що нейромережева сегментація забезпечує стабільніше виділення контурів та дрібних елементів порівняно з традиційними пороговими підходами, знижує частку ручної дорисовки та виправлення масок, а також покращує якість подальшого кольороподілу й масштабування. Розроблений алгоритм сегментації формує основу для побудови повністю цифрового конвеєра підготовки даних до шовкографії, зменшує людський фактор і трудомісткість препрес-процесів та створює передумови для подальшої автоматизації ланцюжка «фото принта – набір трафаретів».

Перелік посилань

1. Kumah, C., Raji, R. K., & Pan, R. (2020). Review of printed fabric pattern segmentation analysis and application. Autex Research Journal, 20(4), 530-538.
2. Kumah, C., Zhang, N., Raji, R. K., Li, Z., & Pan, R. (2022). Unsupervised segmentation of printed fabric patterns based on mean shift algorithm. The Journal of The Textile Institute, 113(1), 1-9.
3. Chakraborty, S., Moore, M., & Parrillo-Chapman, L. (2022). Automatic defect detection for fabric printing using a deep convolutional neural network. International Journal of Fashion Design, Technology and Education, 15(2), 142-157.
4. Molchanova M., Mazurets O., Klimenko V., Kuflevsky Ev. Object-oriented model for neural network damage detection of mail packages. Proceedings of XIV International Scientific and Practical Conference «Solving Scientific Problems Using Innovative Concepts». March 13-15, 2024. Copenhagen, Denmark. 2024. Pp. 58-62.
5. Pokhytun A., Mazurets O., Molchanova M., Tyschenko O. Method for Neural Network Detecting Changed Images of People's Faces Using CNN. New Horizons in Scientific Research: Challenges and Solutions. Proceedings of the 1st International scientific and practical conference. October 21-23, 2024. Marseille, France. 2024. Pp. 35-40.
6. Kharysh I., Sobko O., Mazurets O. Designing CNN Neural Network Model for Detecting Fractures of Lower Extremities by X-ray Images. The Impact of Scientific Research on the Development of the Modern World. Proceedings of the XLIV International scientific and practical conference. October 23-25, 2024. Dubrovnik, Croatia. 2024. Pp. 91-96.
7. Zharnovskyi O., Mazurets O., Sobko O. Approach to Identification of Artificial Intelligence-Generated People Images by Means of Machine Learning. Key Aspects of the Development of Scientific Research in Modern Conditions. Proceedings of the XLV International scientific and practical conference. October 30 – November 1, 2024. Constanta, Romania. 2024. Pp. 69-73.
8. Mazurets O. V., Klimenko V. I., Molchanova M. O., Sultanov A. V. Object-Oriented Intelligent System for Neural Network Detection of Sugar Crystallization Zones. Global Science: Prospects and Innovations. Proceedings of the 10th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. 2024. Pp. 198-207.
9. Novak Y., Mazurets O. Practical Application of Method of Automated Personal Identification by Fingerprints Using Convolution Neural Networks. Proceedings of V International Scientific

and Practical Conference «Modern strategies of global scientific solutions». December 27-29, 2023. Stockholm, Sweden, International Scientific Unity. 2023. Pp. 136-140.
10. Mazurets O., Uspenska K., Vit R., Tyschenko O. Intelligent System for Determining the Object Attributes Values by Neural Networks Means by Graphic Images in Databases. Current Trends in the Development of Scientific Research in Today's Conditions. Proceedings of XXV International scientific and practical conference. May 29-31, 2024. International Scientific Unity. Florence, Italy. 2024. Pp. 86-91.
11. Kok I.A., Kadynska V.D., Zalutska O.O., Mazurets O.V. Object-Oriented Intelligent System for Automated Control of Smoking by Video Data. Current scientific goals, approaches and challenges. Proceedings of IV International Scientific and Theoretical Conference. June 13, 2025. Dresden, Federal Republic of Germany. Pp. 156-164.
12. Bas I.S., Kadynska V.D., Klimenko V.I., Mazurets O.V. Convolutional Neural Network Transfer Learning Method for Aircraft Image Classification. Scientific method: reality and future trends of researching. Proceedings of VI International Scientific and Theoretical Conference. June 6, 2025. Montreal, Canada. Pp. 147-155.
13. Mazurets O., Zalutska O., Tyschenko O., Bohdanova A. An Approach to Using MobileNet CNN-model for Gesture Recognition. Proceedings of XXIII International Scientific and Practical Conference «Problems of Science and Technology: the Search for Innovative Solutions». May 15-17, 2024. Munich, Germany. 2024. Pp. 59-64.
14. Bohdanova A., Mazurets O., Sobko O. Gesture recognition using a neural network in real time. Black Sea Science 2023: Proceedings of the International Competition of Student Scientific Works. Odesa National University of Technology. Odesa, ONUT, 2023. Pp. 556-566.
15. Mushtyn O., Sobko O., Molchanova M., Mazurets O. Convolutional Neural Network Architecture for Image-Based Architectural Style Recognition. Evolving Science: Theories, Discoveries and Practical Outcomes. Proceedings of 4th International Scientific and Practical Conference. June 9-11, 2025. Zurich, Switzerland. Pp. 130-143.
16. Malaydakh V., Molchanova M., Shevchuk P., Mazurets O. Deep learning neural network architecture for determining sunflower growth stage from visual data. Modern Scientific Research: Theoretical and Practical Aspects. Proceedings II International Scientific and Practical Conference. May 26-28, 2025. Riga, Latvia. Pp. 143-148.
17. Ostapchenko N., Tyschenko O., Denysenko B., Mazurets O. Semantic search of relevant images using vector databases. Modern Scientific Research: Theoretical and Practical Aspects. Proceedings II International Scientific and Practical Conference. May 26-28, 2025. Riga, Latvia. Pp. 161-165.
18. Mazurets O., Molchanova M., Klimenko V., Klopotivskyi D. Datalogic Model for Image Recognition by Convolutional Neural Network Using Cloud Services. Proceedings of XXII International Scientific and Practical Conference «Modern Scientific Research: Theoretical and Practical Aspects». May 8-10, 2024. Oslo, Norway. 2024. Pp. 64-68.