

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

МОЛЧАНОВА ВІРА СЕРГІЇВНА

УДК 004.932::744.4

**КОМПЛЕКС МЕТОДІВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ І ВЕКТОРИЗАЦІЇ
РАСТРОВИХ ФОРМАТІВ КОНТУРІВ ДЕТАЛЕЙ
МАШИНОБУДІВЕЛЬНИХ КРЕСЛЕНЬ**

05.13.06 – Інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 2018

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі інформатики ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Чичкар'юв Євген Анатолійович,
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»
Міністерства освіти і науки України
завідувач кафедри інформатики, м. Маріуполь ..

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Олізаренко Сергій Анатолійович,
Харківський національний університет Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба Міністерства оборони України,
начальник науково-дослідного відділу наукового центру

кандидат технічних наук, доцент
Меркулова Катерина Володимирівна,
Донецький національний університет імені Василя Стуса
Міністерства освіти і науки України,
в.о. завідувача кафедри комп'ютерних технологій

Захист дисертації відбудеться «_____» _____ 2018 р. о ____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.01 в Національному транспортному університеті за адресою: 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 333.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42.

Автореферат розісланий «____» _____ 2018 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, професор

Мельниченко О.І.

ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ

Актуальність теми. За оцінкою International Data Corporation і Document Management, у Світі є понад 5 млрд. інженерно-технічних зображень (понад 65% з них – паперові креслення), які досі зберігаються у паперових архівах й обробляються застарілими методами. Необхідність створення конкурентної продукції на підприємствах України стимулює впровадження комп'ютерних технологій роботи з архівами конструкторської документації. Ефективними інструментами роботи з електронними архівами є автоматизовані системи інженерного документообігу (АСІД). Перетворення графічної інформації паперових креслень у цифрову форму з метою її включення до електронних архівів та в інженерний документообіг дає економічний ефект завдяки зниженню вартості створення, зберігання, тиражування і розповсюдження креслень. Креслення в електронних архівах мають бути представлені не тільки цифровими копіями паперових оригіналів, але й моделями, придатними для автоматизованого аналізу та синтезу креслень. Тому, проблема створення методів перетворення зображень креслень, що зберігаються у паперових архівах конструкторської документації, в їх електронні образи у складі АСІД, актуальна й економічно виправдана.

Предметною областю даного дослідження є АСІД, де в якості документів виступають растрові й векторні образи машинобудівельних креслень деталей.

Дослідження в області машинної графіки (Путятін Є.П., Шлезінгер М.І., Дуда Р., Фолі Дж., Вельтмандер П.В., Абламейко С.В., Местецький Л.М., Gonsales R., Serra J., Hopcroft J.E., Fu K.S., Pratt W.K. та ін.) присвячені загальнотеоретичним методам обробки зображень. Результати цих досліджень, як правило, абстраговані від специфіки, властивій растровим зображенням креслень деталей (впливу виду носія на характеристики яскравості, особливостей зашумлення, необхідності збереження топології, тощо). Найчастіше це потребує суттєвої модифікації розроблених на їх основі методів обробки зображень. Для розв'язання окремих прикладних задач, що вимагають високої якості вихідних зображень, дослідниками пропонуються спеціалізовані методи, що враховують специфіку конкретної предметної області. При цьому слід відмітити роботи Зелик Я. І., Олізаренко С. А., Савіна С. З., Меркулової К. В., Павлій В. О. У цих роботах розглядаються окремі питання обробки геоінформаційних зображень та аерофотознімків, обробки зображень електричних схем, аналізу медичних зображень. У роботах, присвячених растр-векторній трансформації інженерних креслень: попередній обробці (фільтрації, бінаризації, скелетизації) і векторизації (розпізнаванню та параметризації геометричних примітивів), зазвичай розглядаються лише окремі аспекти цієї задачі (Темнов К.А., Міщеряков Ю.В., Москаленко С.В., Хрящев Д.А., Новиков Ю.Л.), поза її цілісністю. Тому, задача розробки комплексу спеціалізованих методів попередньої обробки й векторизації растрових зображень креслень деталей для використання в АСІД актуальна, лежить у руслі сучасних теоретичних досліджень. Розв'язання цієї задачі має практичне значення, бо дозволяє знизити витрати ручної праці зі створення електронних архівів креслень, зменшити терміни розробки проектів, підвищити їх якість.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами та грантами. Дисертаційну роботу виконано згідно плану науково-дослідних робіт ДВНЗ «ПДТУ», у рамках держбюджетної теми №0715U1984 «Розробка методу векториза-

ції примітивів растрових зображень технічних креслень» (№ДР 0215U00095). Здобувач приймав участь у виконанні роботи як виконавець.

Мета роботи полягає у підвищенні якості попередньої обробки і векторизації растрових форматів контурів деталей машинобудівельних креслень.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні наукові задачі:

- проаналізувати існуючі методи растр-векторного перетворення зображень креслень деталей із метою виявлення можливості їх застосування у розглянутій предметній області;

- розробити правила коригування спотворень геометрії скелета контура деталі, що виникають під час скелетизації контурів топологічними методами;

- розробити структурно-лінгвістичний метод векторизації растрових об'єктів, який забезпечує розпізнавання й параметризацію довільно-зорієнтованих типових примітивів у топологічно-складних контурах деталей;

- удосконалити методи усунення остаточних спотворень у бінарних зображеннях креслень деталей із урахуванням необхідності збереження топології контуру деталі;

- розвинути методи усунення спотворень у кольорових півтонових зображеннях креслень деталей із урахуванням їх специфіки: впливу виду носія на яскравість, особливостей зашумлення, необхідності підвищення чіткості контурів деталей для збереження їх топології;

- розвинути методи бінаризації з урахуванням характеристик яскравості півтонових зображень креслень деталей на різних носіях і потреби збереження цілісності контурів деталей;

- виконати тестування розроблених методів із використанням загальноприйнятих показників якості зображень.

Об'єкт дослідження – процес трансформації растрових форматів контурів деталей машинобудівельних креслень у гомотопні їм векторні образи.

Предмет дослідження – методи попередньої обробки і векторизації растрових форматів контурів деталей машинобудівельних креслень.

Методи дослідження. У процесі дослідження використано фундаментальні положення теорії обробки зображень і комплекс взаємодоповнюючих загальнонаукових і спеціальних методів. Методи аналізу застосовано для встановлення зв'язків між частинами досліджуваного процесу при розробці узагальненої схеми растр-векторної трансформації зображень креслень деталей. Методи синтезу застосовано для об'єднання етапів обробки зображень в єдину інформаційну технологію растр-векторної трансформації машинобудівельних креслень деталей. Формалізація предметної області використана для представлення даних у компактному вигляді, зручному для автоматизованої обробки. Експеримент послужив основою перевірки запропонованих теоретичних положень на тестових зразках. Методи математичної статистики використано для оцінки якості розроблених методів.

Інформаційною базою дослідження є репрезентативна вибірка зображень креслень деталей різних розмірів, спотворених різними видами яскравісного й хроматичного шуму, із топологічно-складними контурами різної товщини.

Наукова новизна одержаних результатів:

вперше:

- запропоновано набір коригувальних масок та правила прийняття рішень щодо усунення структурних спотворень скелетів контурів деталей; на їх основі розроблено методи, які передбачають відновлення гомотопності скелета контуру деталі на стадіях його ітеративного стоншення та після завершення скелетизації;

- запропоновано модель скелету контуру деталі у вигляді зорієнтованого зваженого графа; вершинами графа виступають характеристичні точки скелета контуру, які визначаються за допомогою розробленого набору шаблонів, а ребрами – сегменти геометричних примітивів скелета, ваги яких визначаються параметрами примітивів;

- розроблено метод розпізнавання та параметризації геометричних примітивів контура деталі, що здійснюється на основі вперше сформульованих правил синтаксичного аналізу ребр графа, кодованих ланцюговими Фрімен-кодами; у випадку композицій примітивів у сегменті аналіз ребр графа виконується із застосуванням запропонованої методики їх рекурсивного бісекціонування;

удосконалено:

- метод усунення залишкового шуму у бінарних зображеннях креслень деталей на основі просторово-апертурної фільтрації зображення розробленими масками сепарації контуру і фону;

отримали подальшого розвитку:

- метод підвищення чіткості контуру деталі за рахунок компенсації спотворень малорозмірних примітивів, шляхом розрідження ядер фільтрів підвищення чіткості з адаптацією виду і радіусу розрідження їх ядер;

- двостадійний метод бінаризації растрових кольорових півтонових зображень креслень деталей; метод передбачає розрахунок оцінок двох глобальних порогів бінаризації на основі форм і відношення мод світла й тіні у гістограмі яскравості зображення, а також розрахунок оцінок локальних порогів бінаризації на основі балансу яскравостей областей інтересу з квазі-бімодальними гістограмами.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблений комплекс методів зорієнтовано на використання в АСІД. Практичну значущість наукових результатів дослідження підтверджено впровадженням на промислових підприємствах: ТОВ «АГ Сталь» (акт впровадження від 08.10.2014) та ПАТ «Азовзагальмаш» (акт впровадження від 31.03.2015), а також у навчальному процесі ДВНЗ «ПДТУ» (довідка про впровадження від 03.10.2017).

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, що виносяться на захист, отримані особисто здобувачем і ґрунтуються на опублікованих наукових результатах. При підготовці публікацій зі співавторами внесок здобувача був визначальним: у [3] розроблено методи розпізнавання примітивів контуру деталі, у [5] розроблено комплекс структурно-лінгвістичних методів векторизації растрового скелета контуру деталі, у [6] розроблено модифікацію методу кодування контуру деталі, у [10] розроблено комплекс методів усунення півтонових спотворень контурів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дослідження доповідалися й обговорювалися на: міжнар. наук.-практ. конф.: «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем» (Дніпропетровськ, 25-27.11.2009), «Донбас-2020: перспективи розвитку очима молодих вчених» (Донецьк, 25-27.05. 2010), «Су-

часні проблеми математики та її застосування у природничих науках та інформаційних технологіях» (Харків, 17-22.04.2011), «Сучасні проблеми математики, механіки та інформатики» (Харків, 29.09-04.10.2013); міжнар. наук.-техн. конф.: «Університетська наука - 2008» (Маріуполь, 16-18. 05.2008), «Інформатика та комп'ютерні технології» (Донецьк, 23-25.11.2010), «Моделювання, ідентифікація, синтез систем керування» (Канака, 09-16.09.2012), «Університетська наука - 2013» (Маріуполь, 19-21.05.2013), «Університетська наука - 2014» (Маріуполь, 20-21.05.2014), «Університетська наука - 2015» (Маріуполь, 19-20.05.2015), «Університетська наука - 2016» (Маріуполь, 18-20.05. 2016), «Університетська наука - 2017» (Маріуполь, 19-21.05. 2017).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 23 наукові праці, у тому числі 10 статей – з них: 5 - у спеціалізованих виданнях, 5 – у виданнях, цитованих у науково-метричних базах Web of Science, Index Copernicus, РІНЦ та ін. і 13 публікацій - у збірниках праць наук.-техн. конф. Загальний обсяг публікацій склав 8,75 друк. арк.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, 4 додатків. Повний обсяг дисертації становить 171 с. основного тексту, 65 рис., 9 табл., 4 дод. на 71 с., список із 149 джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність розглянутої теми, сформульовано мету, предмет та задачі дослідження, відображено наукову новизну і практичну значущість роботи.

Перший розділ присвячено аналізу існуючих методів розв'язання розглянутих задач із точки зору їх теоретичної адекватності предметній області та практичної ефективності у складі АСІД. Результати аналізу літературних джерел показали, що існуючі методи розв'язання задач растр-векторного перетворення зображень не враховують специфіки креслень деталей. Внаслідок цього контури результуючих зображень деталей втрачають структурні особливості або, при зовнішній схожості, не гомотопні оригіналам і не придатні до обробки у САД-системах. Так, наприклад, відомі інструменти векторизації некоректно розпізнають еліпси та їх дуги, замінюючи їх ламаними або сплайнами. Локалізація таких методів на розглянуту предметну область недоцільна через їх ресурсоемність та низьку якість результатів. Роботи, присвячені растр-векторній трансформації креслень, розглядають проблему фрагментарно, поза цілісністю всього комплексу задач їх фільтрації, бінаризації, скелетизації й векторизації. Запропоновані в них методи, як правило, вимагають наявності ідеальних растрових зображень, спосіб отримання яких не описано. Тому, розробка комплексу методів трансформації растрових форматів контурів деталей машинобудівельних креслень у гомотопні їм векторні образи актуальна, лежить у руслі сучасних теоретичних досліджень в області обробки зображень і має практичне значення. На основі виконаного аналізу поставлені задачі дослідження.

У **другому розділі** розроблено комплекс методів попередньої обробки зображень креслень деталей. На основі аналізу репрезентативної вибірки зразків зображень креслень деталей визначені особливості яскравості, притаманні їх контурно-штриховому стилю: нерівномірна яскравість, нерівномірна контрастність із підвищенням контрасту в околиці контуру, тональність фону носія.

Виходячи з цих особливостей, встановлено, що метою задачі фільтрації кольорового півтонового зображення креслення деталі є гомотопне відображення зашумленого зображення у його оригінал із допустимою похибкою ε шляхом усунення шуму й спотворень яскравості. Узагальненим критерієм якості фільтрації доцільно обрати мінімальну відстань Хемінга ρ між фільтрованим $R^{(CF)}$ і неспотвореним $R^{(0)}$ зображеннями (1).

$$\rho(R^{(CF)}, R^{(0)}) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (r_{ij}^{(CF)} \wedge r_{ij}^{(0)}) \leq \varepsilon \quad (1)$$

де $r_{ij}^{(CF)}, r_{ij}^{(0)}$ – яскравості точок. Мірами цієї відстані виступають метрики: MSE, PSNR, UIQI, SSIM, Recall, Precision, F – measure, Accuracy, PCRE. Основним обмеженням задачі є необхідність збереження топології контуру деталі.

Встановлено, що підвищення чіткості фрагментів зображень креслень деталей без спотворень топології контуру досягається застосуванням розробленого комплексу методів:

1. Гібридний адаптивний метод пригнічення спотворень, що зберігає топологію контуру деталі, передбачає розмиття фонового шуму σ -фільтром із подальшим зменшенням інтенсивності ослабленого шуму автоконтрастуванням зображення, у відповідності з інтенсивністю шуму, розрахованої за метриками PSNR і CNR (2,3).

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \text{PSNR}_m = \text{PSNR}_{\max} : \forall \begin{cases} |r_{kl} - r_{ij}| \leq K \cdot \text{MSE} : \begin{cases} k \in [k = i \mp \omega] \\ l \in [l = j \mp \omega] \end{cases} \\ \omega, K \in \{ \{\omega\}_3^9, \{K\}_1^5 \} \end{cases} \quad (2)$$

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \text{CNR}_m - \text{CNR}_{m-1} \leq \varepsilon : \forall g_K(Y(r_{ij}, \Omega_{r_{ij}}^{(8)})) : Y(r_{ij}, \Omega_{r_{ij}}^{(8)}) = |r_{ij} - \overline{\Omega_{r_{ij}}^{(8)}}| \quad (3)$$

де r_{ij} – яскравість аналізованої точки (i, j) зображення, $\Omega_{r_{ij}}^{(8)}$ – 8-околиця аналізованої точки, g_K – локальна контрастність зображення у межах $\Omega_{r_{ij}}^{(8)}$, $Y(r_{ij}, \Omega_{r_{ij}}^{(8)})$ – правило порівняння r_{ij} з яскравостями точок з $\Omega_{r_{ij}}^{(8)}$. Результат досягається за рахунок: підбору оптимальних значень параметрів ω, K ковзного вікна $\Omega_{r_{ij}}^{(8)}$ та відношення значення порогу допуску (інтервалу, в якому усереднюється яскравість) до середньоквадратичного відхилення яскравості у зображенні або локальній околиці.

2. Метод компенсації спотворень малорозмірних примітивів при підвищенні чіткості контуру деталі передбачає апертурну обробку зображення розрідженими ядрами $\{H_k\}_1^3$ (рис. 1) відомих фільтрів підвищення чіткості зображення з адаптацією виду і радіусу r_l ядра до інтенсивності шуму на основі максимізації метрики SSIM.

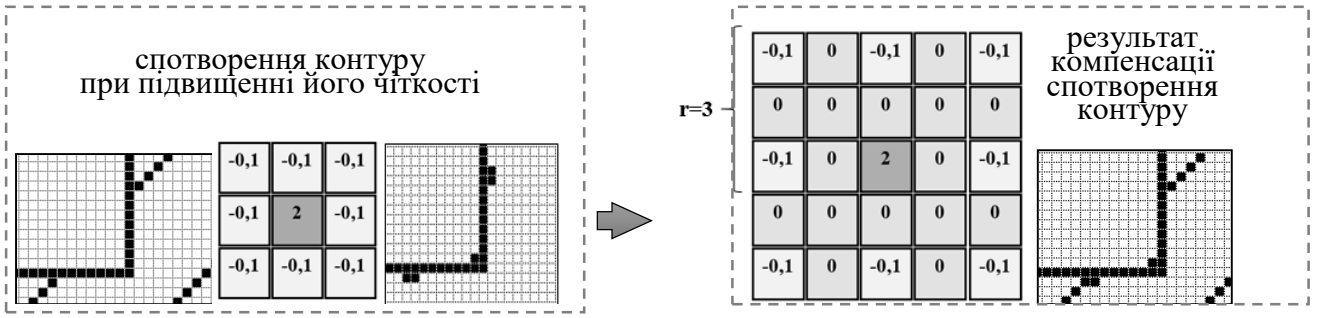


Рисунок 1 - Компенсація спотворень контуру розрідженням ядра фільтра підвищення чіткості

Метод усуває спотворення малорозмірних примітивів, що виникають внаслідок анізотропності ядер $\{H_k\}_1^3$ фільтрів. Найбільший ефект досягається варіацією радіусу r_1 розрідженого ядра у $[1; 4]$ при $r_1 > 2 \cdot W_{\min}$ ($W_{\min}$ - товщина примітиву креслення). При цьому фоновий шум навколо тонкої лінії контуру руйнується (оскільки коефіцієнти розрідженого ядра обнулені), а спотворення примітиву усувається внаслідок підвищення ізотропності ядра фільтра при збільшенні радіусу його розрідження.

У цілому результат досягається за рахунок адаптивності методів комплексу: до виду спотворення - впливом на різні групи спотворень різними методами, до інтенсивності шуму - ітеративною оптимізацією значень метрик: PSNR, CNR і SSIM, до роз-поділу шуму – ітеративним налаштуванням параметрів методів фільтрації.

На основі аналізу задачі бінаризації зображень креслень деталей встановлено, що гомотопне відображення фільтрованого зображення у бінарне має бути виконано класифікацією його точок на фонові й контурні на основі залежності результату від варіації характеристик яскравості зображень креслень деталі на різних видах носіїв. Суттєве підвищення якості бінаризації досягається застосуванням розробленого комплексу методів:

1. Метод оцінки глобальних порогів бінаризації засновано на аналізі форм і співвідношення мод світла й тіні у гістограмі яскравості. Для врахування глобальної неоднорідності яскравості зображень креслень деталей нижній поріг бінаризації $T^{(H)}$ розраховується на основі співвідношень мод світла ($\gamma^{(H)}$) і тіні ($\beta^{(H)}$) на інтервалі $[0; 127]$ у відповідності з виразами (4,5).

$$T^{(H)} = \alpha^{(H)} \cdot (\beta^{(H)} \cdot \bar{L}^{(H)} + \gamma^{(H)} \cdot L_{\min}^{(H)}), \beta^{(H)} = \frac{(\bar{L}^{(H)} - L_{\min}^{(H)})}{(L_{\max}^{(H)} - L_{\min}^{(H)})}, \gamma^{(H)} = 1 - \beta^{(H)}, \quad (4)$$

$$\lim_{i \rightarrow 0} h_i = L_{\min}^{(H)} \mid h_i = 0, \lim_{i \rightarrow 127} h_i = L_{\max}^{(H)} \mid h_i = 0, \bar{L}^{(H)} = \frac{1}{n^{(H)}} \cdot \sum_{i=0}^{127} i \cdot h_i, \quad (5)$$

де h_i – бін кольору «i» у гістограмі яскравості, $n^{(H)}$ – кількість точок зображення, $[L_{\min}^{(H)}; L_{\max}^{(H)}]$ - діапазон яскравості, $\bar{L}^{(H)}$ - середня яскравість, $\alpha^{(H)} = 1 - k \cdot \beta^{(H)}$ і k – настроювальні коефіцієнти, які дозволяють змінювати чутливість методу до тональності фону зображення за шкалою яскравості рівномірних носіїв креслення деталі. Верхній поріг $T^{(B)}$ розраховується аналогічно на інтервалі $[128; 255]$.

2. Метод оцінки локальних порогів бінаризації точок інтервалу невизначеності засновано на аналізі балансу яскравості у локальних областях інтересу з квазі-

бімодальними гістограмами. У відповідності до принципу взаємозв'язку значень яскравостей пікселів навколо точки r_{ij} вздовж 8 растрових векторів формується ω_k -околиця («клік»). Далі виконується оцінка розподілу яскравостей $\beta^{(\omega)}$ і $\gamma^{(\omega)}$ точок «кліка» і розрахунок локального порогу $t_m = \alpha \cdot (\beta^{(\omega)} \cdot \bar{L}^{(\omega)} + \gamma^{(\omega)} \cdot L_{\min}^{(\omega)})$, $\alpha = 1 - k \cdot \beta$, де α – глобальний настроювальний коефіцієнт, $L_{\min}^{(\omega)}$ й $\bar{L}^{(\omega)}$ мінімальна й середня оцінки яскравості точок зображення креслення деталі у межах «кліків», відповідно.

Усунення остаточних бінарних спотворень у контурах деталей без втрати їх малорозмірних примітивів досягається застосуванням розробленого комплексу методів:

1. Метод контурних масок видаляє фонові конгломерати чорних точок за рахунок сепарації точок зображення на контурні й фонові за формами утворюваних ними атомарних фігур (рис. 3). В 8-околиці точки P точки $\{P_k\}_0^7$ контуру, на відміну від артефактів шуму, утворюють форми у вигляді прямого кута $\{P_0, P, P_2\}$ або відрізка прямої $\{P_6, P, P_2\}$. Для сепарації кінцевих точок контуру використовуються розроблені маски 5×5 24-околиці (рис. 3) аналізованої точки; при збігу околиці з такою маскою точка P вважається кінцевою точкою контуру й не фільтрується.



Рисунок 3 – Метод контурних масок

2. Метод усунення контурних спотворень видаляє «бахрому»: чорну - навколо контуру деталі й білу - у контурі деталі на основі апертурної просторової фільтрації бінарного зображення розробленими масками $\{Z^{(b)}\}$, $\{Z^{(w)}\}$ з асиметричними ядрами $d_1 \times d_2$ і можливістю їх обертання (рис. 4).

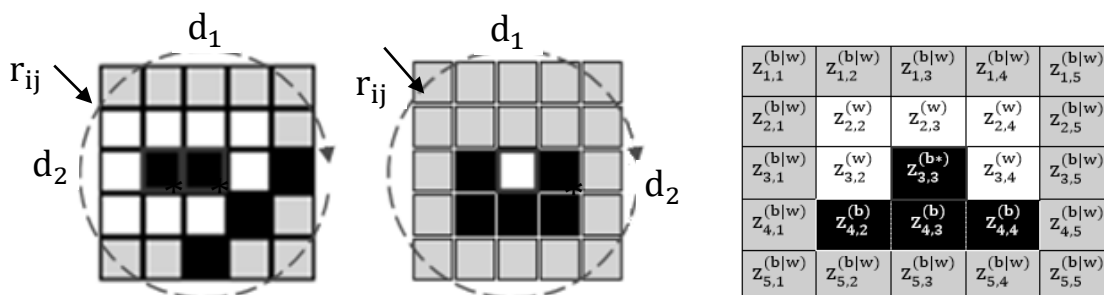


Рисунок 4 – Приклади масок усунення контурних спотворень і структури маски

Якщо при скануванні зображення апертура точки r_{ij} співпадає з ядром маски з $\{Z^{(b)}\}$ для усунення чорної «бахроми», то точки $r_{mn}^{(F)}$ зображення, що відповідають точкам $z_{kl}^{(b*)}$, забарвлюються у білий колір фону (6).

$$r_{mn}^{(F)} = \begin{cases} 0 \vee \langle d(r_{ij}) \in \{Z^{(b)}\} \mid r_{mn}^{(F)} \equiv z_{kl}^{(b*)} \rangle, \\ 1 \vee \langle d(r_{ij}) \in \{Z^{(w)}\} \mid r_{mn}^{(F)} \equiv z_{kl}^{(w*)} \rangle, \end{cases} \quad \forall \begin{cases} m = i - k + 1, n = j - l + 1, \\ k \in [1; d_1], l \in [1; d_2], \end{cases} \quad (6)$$

При збігу апертури з ядром маски з $\{Z^{(w)}\}$ для видалення білої «бахроми» точки $r_{mn}^{(F)}$, що відповідають точкам $z_{kl}^{(w*)}$, забарвлюються у чорний колір контуру.

Метою задачі стоншення площинного контуру деталі є гомотопне перетворення бінарного контуру G деталі у скелет $G^{(S)}$ одиничної товщини W видаленням простих точок. Узагальненим критерієм якості скелетизації є відстань Хемінга між результатом $G^{(S)}$ і еталонним $G^{(S_0)}$ скелетами. Основним обмеженням задачі є відсутність спотворень скелета, що порушують його топологічну подоби контуру деталі.

Аналізом результатів стоншення контуру деталі базовими топологічними методами скелетизації визначені типові викривлення скелета: порушення топології кутів, порушення зв'язності, спотворення у точках перетину геометричних примітивів. Показано, що усунення структурних спотворень скелета контуру деталі досягається двоетапним його коригуванням. На першому етапі, під час ітеративного стоншення контуру деталі, коригуються спотворення в околицях вершин кутів скелета. Для цього застосовується розроблений метод коригування спотворень топології кутів скелета. Метод засновано на використанні «шахової» метрики й масок розпізнавання кутів контуру, в яких використовуються неактивні позиції масок базового методу скелетизації (приклад на рис. 5, а).

На другому етапі, після отримання скелета в цілому, виконується реконструкція викривлених областей перетину геометричних примітивів скелета. При цьому застосовуються розроблені методи коригування порушень зв'язності й топології скелета у точках перетину примітивів. Результат досягається скануванням спотвореного скелета із застосуванням розроблених масок: коригуючої (рис. 5, б) і регенеруючих (приклад на рис. 5, в). При збігу апертури точки з ядром маски скелет коригується у відповідності до правил прийняття рішень, специфічних для типів викривлень.

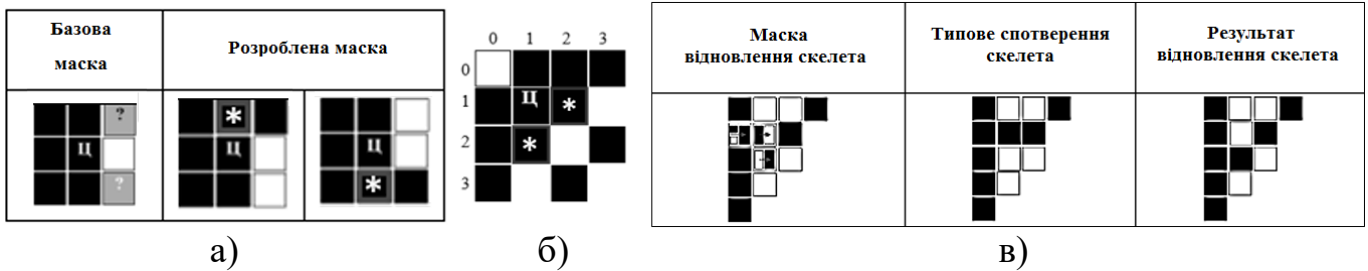


Рисунок 5 – Приклади розроблених ядер масок коригування спотворень скелета з можливістю обертання на $\alpha \in \{90^\circ, 180^\circ, 270^\circ\}$

Третій розділ присвячено опису комплексу розроблених методів векторизації скелетизованих бінарних зображень контурів деталей.

Мета векторизації – гомотопне растр-векторне перетворення $\vec{G}^{(S)} \Rightarrow \vec{V}$, при якому векторний контур $\vec{V}$ представлено ланцюговою композицією ранжованої множини типованих вектор-контурів $\{\vec{N}\}$ примітивів ($\vec{L}$ – відрізків прямої, $\vec{O}, \nexists \vec{O}$ – окружностей і їх дуг, $\vec{C}, \nexists \vec{C}$ – еліпсів і їх дуг) з параметрами $\{P_{\vec{N}}\}$, при збереженні їх топології й зв'язності. Скелет $\vec{G}^{(S)}$ доцільно представити зорієнтованим зваженим графом $[\{T\}, \{\vec{N}\}]$, вершинами якого є характеристичні точки $\{T\}$ перетину примітивів, а ребрами – $\{\vec{N}\}$. Кожне ребро графа $\vec{V}$ повинне відповідати лише одному примітиву; тому граф має бути зваженим ваговою функцією $f(\{P\}, \{\Psi_{\vec{N}}\}) \in [0; 1] \mid \{\vec{N}\} \xrightarrow{\{\vartheta_{\vec{N}}\}} \mathfrak{R}$ (тут $\{\Psi_{\vec{N}}\}$ – лінгвістичні правила ідентифікації $\{\vec{N}\}$, $\{\vartheta_{\vec{N}}\}$ – ваги ребр графа). Вага ребра пропорційна ступеню гомотопності вектор-контура фрагменту растрового примітиву і розраховується як відношення кількості точок примітиву, що відповідають лінгвістичним правилам побудови типованого вектор-контура $\vec{N}$ з параметрами $\{P_{\vec{N}}\}$, до загальної кількості його точок. Тип примітиву та його параметри обираються так, щоби максимізувати вагу ребра. Функція мети задачі векторизації представлена виразом (7), де узагальненим критерієм якості векторизації виступає відстань Хемінга $\rho(\vec{V}, \vec{G}^{(S)})$ між візуалізованим векторним образом $\vec{V}$ і скелетом $\vec{G}^{(S)}$ контура деталі.

$$\vec{V} = \bigcup_{k=1}^K [T, \vec{N}] \mid f(\{P\}, \{\Psi_{\vec{N}}\}) \mid \{\vec{N}\} \xrightarrow{\{\vartheta_{\vec{N}}\}} \mathfrak{R}, \rho(\vec{V}, \vec{G}^{(S)}) \rightarrow \varepsilon \rightarrow 0 \quad (7)$$

Достовірне розпізнавання геометричних примітивів із довільною орієнтацією досягається застосуванням розробленого комплексу методів:

1. Метод розпізнавання й кодування характеристичних точок скелета контуру деталі засновано на апертурному аналізі 8-околиць кожної точки A за допомогою спроектованих масок (приклад - на рис. 6), що дають інформацію про тип точки (ізолювана, кінцева, кутова, ...) та її зв'язки.

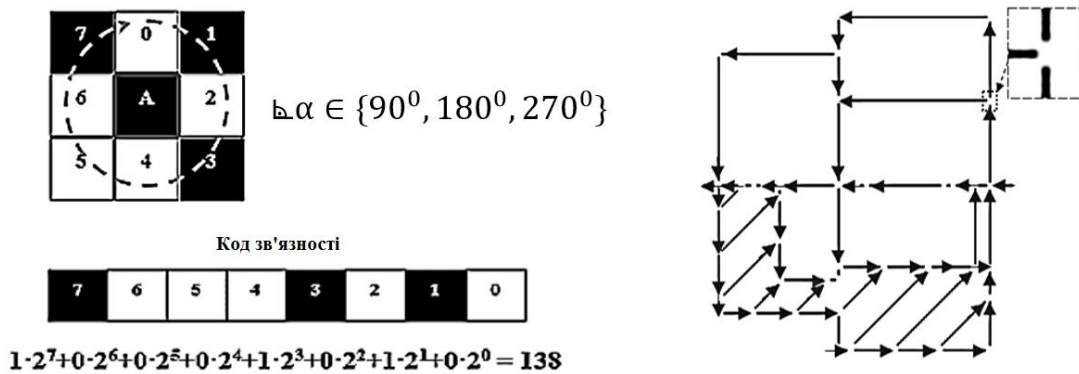


Рисунок 6 – Приклади: маски розпізнавання характеристичних точок, сформованого на її основі коду зв'язності, сегментів зорієнтованого графа

2. Метод формування зорієнтованого графа сегментів скелета передбачає формування: коду зв'язності сегментів $\{\vec{S}_k\}_K$ скелета у характеристичних точках $\{T\}$ (рис. 6), структур зв'язності - відносин: «характеристична точка» $\Leftrightarrow$ «сегмент скелета» $\Leftrightarrow$ «код зв'язності» з подальшим відновувальним стиранням їх околиць. Тим самим скелет перетворюється на граф із вершинами в характеристичних точках, і ребрами, спрямованість яких зумовлена обранням напрямом обходу скелета.

3. У запропонованому методі кодування графу сегментів скелета сегменти $\{\vec{S}_k\}_K$ кодуються словами $\{S_k\}_K$ у ланцюгових Фрімен-кодах. Перспективним напрямком сканування скелета вважається напрямок переміщення на попередній ітерації. Огляд 8-околиці кожної точки скелета виконується за запропонованою гібридною схемою напрямків: «0→4→2→6» → «1→5→7→3» (рис. 7), що зберігає топологію контуру й однозначність Фрімен-коду скелета.

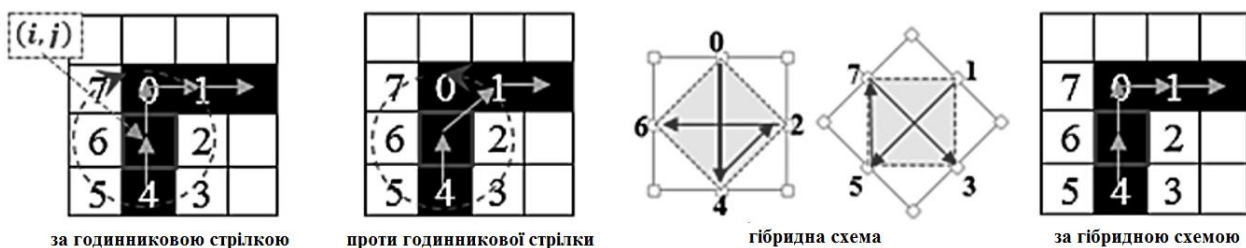


Рисунок 7 – Удосконалена схема трасування скелета

4. Методи розпізнавання і параметризації ребр графу передбачають синтаксичний аналіз слів $\{S_k\}_K$, що складаються з символів Фрімен-коду, з метою перевірки дотримання виявлених структурних закономірностей форм геометричних примітивів, відповідно правилам синтаксичного аналізу ребр графу. Растрові фрагменти прямої періодичні (рис. 8); період визначається коефіцієнтом куту її нахилу.

Якщо S_k описується двома векторами $\vec{v}_{q+1} \neq \vec{v}_q$, то один з них приймається за «основний», а другий - за «допоміжний». З огляду на циклічний характер списку $\{0, 1, \dots, 7\}$ значень Фрімен-кодів f в обраному напрямку обходу скелета (для циклічного списку довжиною 8 справедливо $f - n = f - n + 8$, при $0 \leq n \leq 8$) виявлені структурні закономірності примітиву «відрізок прямої» (таблиця 1).

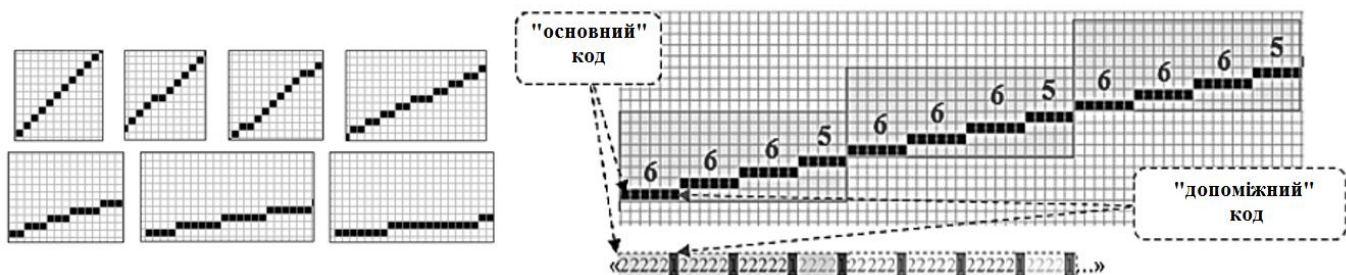


Рисунок 8 - Структурно-лінгвістичні закономірності слова, що описує примітив «відрізок прямої»

Таблиця 1 – Структурні закономірності примітиву «відрізок прямої»

Поточний код, v_q	Допустимий попередній код, v_{q-1}	Обмежуюча умова
f	$f - 1$	$[f + 1; f - 2] \notin S_k$
	f	$((f - 1)(f - 1) \notin S_k) \wedge ((f + 1)(f + 1) \notin S_k) \wedge ([f + 2; f - 2] \notin S_k)$
	$f + 1$	$[f + 2; f - 1] \notin S_k$

Параметризація відрізка прямої полягає у розрахунку координат $(i, j)_n$ його кінцевої точки відповідно до виразів (8) і кутового коефіцієнта $k = \Delta i / \Delta j$.

$$\begin{cases} i_n = i_0 + \Delta i \mid \Delta i = |\vec{v}_1| + |\vec{v}_2| + |\vec{v}_3| - |\vec{v}_5| - |\vec{v}_6| - |\vec{v}_7|, \\ j_n = j_0 + \Delta j \mid \Delta j = |\vec{v}_3| + |\vec{v}_4| + |\vec{v}_5| - |\vec{v}_0| - |\vec{v}_1| - |\vec{v}_7|. \end{cases} \quad (8)$$

Якщо у підслові S_k , що описує примітив «еліпс», дотримується $\vec{v}_{q+1} = \vec{v}_q$, то код $\vec{v}_q$ є провідним (рис. 9) (позначимо такий код як w_q). Виявлені структурні закономірності примітиву «еліпс» наведено у табл. 2.

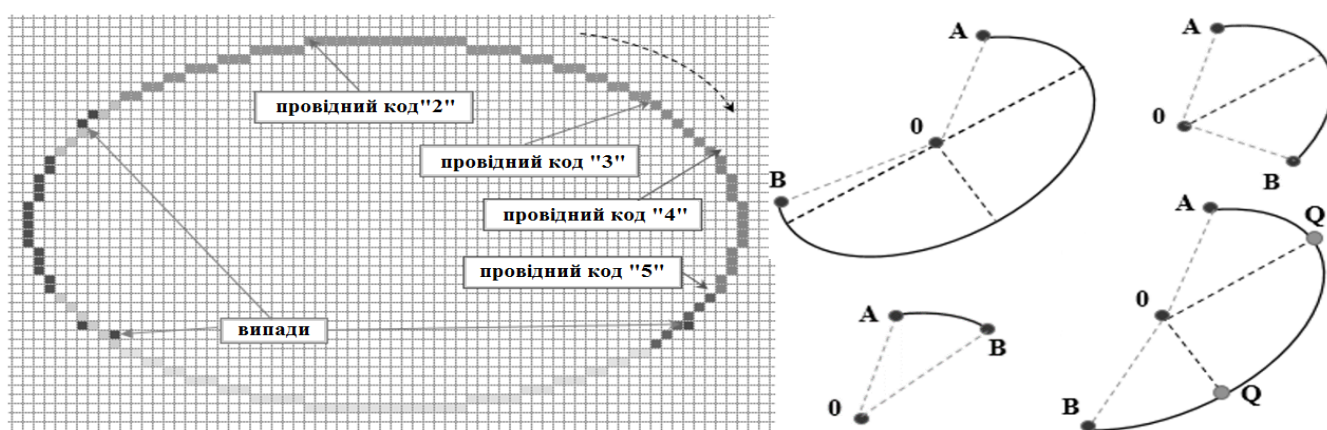


Рисунок 9 - Структурно-лінгвістичні закономірності слова, що описує примітиви «еліпс» і «дуга еліпса»

Таблиця 2 – Структурні закономірності примітиву «еліпс»

Поточний код, v_q	Допустимий попередній код, v_{q-1}	Провідний код, w_q	Обмежуюча умова	Дія
f	$f - 1$	-	підслово $(f + 1)(f)(f - 1) \notin S_k$	-
	f	f	-	-
		$\neg f$	$((w_q = f - 1) \wedge (w_q > w_{q-1})) \wedge ((w_q = f + 1) \wedge (w_q < w_{q-1}))$	$w_q = f$
	$f + 1$	-	підслово $(f - 1)(f)(f + 1) \notin S_k$	-

Правила параметризації еліпса:

1) За кодом S_k сегмента $\vec{S}_k$ скелета розраховуються растрові координати його точок і відстані $\{d\}$ між усіма парами точок (A, B) сегмента $\vec{S}_k$ за формулою (9).

$$d = \sqrt{(i_A - i_B)^2 + (j_A - j_B)^2}, R_{C1} = 1/2 \cdot \max \{d\} \quad (9)$$

Точки A і B , відстань між якими є максимальною, визначають кінці й розмір R_{C1} більшого радіусу еліпса.

2) Коефіцієнти k і b рівняння прямої, що задає більшу ось еліпсу, і координати $(i, j)_C$ центру T_C еліпса - розраховуються відповідно до виразів (10).

$$k = (j_B - j_A) / (i_B - i_A), b = j_A + k \cdot i_A, i_C = (i_A + i_B) / 2, j_C = (j_A + j_B) / 2 \quad (10)$$

Для розрахунку координат $(i, j)_{T_{C1}}$ і $(i, j)_{T_{C2}}$ фокусів T_{C1} і T_{C2} еліпса застосовується ітераційна процедура припасовування кроку 1 до потенційних координат $(i, j)_{T_{C1}}^*$ і $(i, j)_{T_{C2}}^*$ фокусів з їх перевіркою за формулою (11).

$$\sqrt{(i - i_{T_{C1}}^*)^2 + (j - j_{T_{C1}}^*)^2} + \sqrt{(i - i_{T_{C2}}^*)^2 + (j - j_{T_{C2}}^*)^2} = 2 \cdot R_{C1} \pm \varepsilon. \quad (11)$$

Якщо у результаті виконання цієї процедури фокуси знайти не вдалося, то вважається, що S_k не описує еліпс. Символи S_k , що не відповідають канонічному рівнянню еліпса, вважаються похибками растрування (випадами). Експериментально підтверджено коректність результатів розпізнавання еліпсів і кіл при допустимій частці випадів $\leq 5\%$ від кількості точок примітиву.

Оскільки еліпс симетричний щодо центру й осей, то інформації про форму однієї його чверті достатньо для реконструкції інших його частин симетруванням. Задача векторизації дуги еліпса у сегменті $\vec{S}_k$ зводиться до задачі векторизації еліпса і передбачає: пошук у сегменті $\vec{S}_k$ точки перетину дуги еліпса з піввісями, формування слова S_k , що описує еліпс, реконструкцію еліпсу симетруванням дуги за правилами, описаними у табл. 3. У табл. 3 наведені: Фрімен-коди, які відповідають кожній чверті, напрямком обходу й спосіб реконструкції частини еліпса з інших його частин (символ « $\leftrightarrow$ » означає операцію дзеркального відображення слова, що кодує дугу еліпса у чверті). Окружність є окремим випадком еліпса при $R_0 = R_{C1} \pm \varepsilon_1 = R_{C2} \pm \varepsilon_2$.

Таблиця 3 – Правила реконструкції коду примітиву «еліпс»

Чверть	Напрямок обходу							
	за годинниковою стрілкою				проти годинникової стрілки			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
I	2, 3, 4	$\leftrightarrow$ 6 $\rightarrow$ 2 5 $\rightarrow$ 3	6 $\rightarrow$ 2, 7 $\rightarrow$ 3, 0 $\rightarrow$ 4	$\leftrightarrow$ 0 $\rightarrow$ 4, 1 $\rightarrow$ 3	0, 7, 6	$\leftrightarrow$ 2 $\rightarrow$ 6, 1 $\rightarrow$ 7	2 $\rightarrow$ 6, 3 $\rightarrow$ 7, 4 $\rightarrow$ 0	$\leftrightarrow$ 4 $\rightarrow$ 0, 5 $\rightarrow$ 7
II	$\leftrightarrow$ 2 $\rightarrow$ 6, 3 $\rightarrow$ 5	4, 5, 6	$\leftrightarrow$ 0 $\rightarrow$ 4, 7 $\rightarrow$ 5	0 $\rightarrow$ 4, 1 $\rightarrow$ 5, 2 $\rightarrow$ 6	$\leftrightarrow$ 6 $\rightarrow$ 2, 7 $\rightarrow$ 1	2, 1, 0	$\leftrightarrow$ 4 $\rightarrow$ 0, 3 $\rightarrow$ 1	4 $\rightarrow$ 0, 5 $\rightarrow$ 1, 6 $\rightarrow$ 2

III	2→6, 3→7, 4→0	↔ 4→0, 5→7	6, 7, 0	↔ 2→6, 1→7	6→2, 7→3, 0→4	↔ 0→4, 1→3	4, 3, 2	↔ 6→2 5→3
IV	↔ 4→0, 3→1	4→0, 5→1, 6→2	↔ 6→2, 7→1	0, 1, 2	↔ 0→4, 7→5	0→4, 1→5, 2→6	↔ 2→6, 3→5	6, 5, 4

Метод дозволяє розпізнавати дуги, що охоплюють велику і малу піввісь еліпса з осями, паралельними координатним, а також дуги, що охоплюють більшу вісь еліпса з довільним кутом нахилу до осі абсцис.

5. Метод розпізнавання композицій примітивів у сегментах контуру деталі заснований на структурно-лінгвістичному аналізі сегментів контуру. Він дозволяє виділяти примітиви у довільних їх композиціях (сполученнях). Для композитного сегмента слово S_k являє собою композицію підслів $\{S_k\}_K$, кожне з яких описує примітив або композицію примітивів. Позиції підслів у конкатенації $\{S_k\}_K$ можна визначити рекурсивним бісекціонуванням слова S_k з подальшим синтаксичним аналізом кожної його секції (рис. 10).

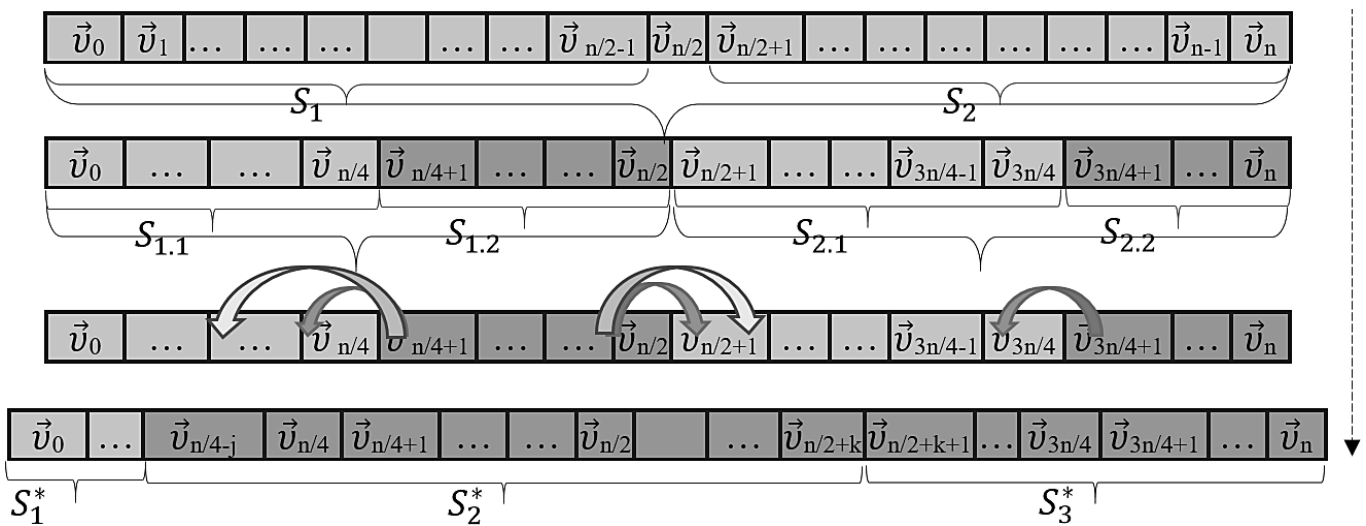


Рисунок 10 - Приклад рекурсивного бісекціонування слова S_k

При цьому задається мінімальна довжина n підслова S_k . Слово S_k рекурсивно ділиться навпіл, і кожна частина розпізнається, поки буде розпізнано і параметризовано примітив, або довжина підслова S_k досягне граничного значення n .

6. Метод синтезу й оптимізації векторного контуру деталі заснований на аналізі зорієнтованого зваженого графа розпізнаних примітивів і структур їх зв'язності із застосуванням розробленого методу визначення їх товщини у бінарному зображенні деталі. Метод дозволяє коректно об'єднувати сегменти у раніше стертих областях, формувати топологічно-складні контури деталей й оптимізувати векторний образ об'єднанням однотипних сусідніх примітивів.

У **четвертому розділі** наведено результати дослідження достовірності та ефективності розробленого комплексу методів попередньої обробки і векторизації растрових зображень креслень деталей.

Тестування розробленого комплексу методів попередньої обробки і векторизації растрових форматів контурів деталей машинобудівельних креслень виконано на репрезентативній випадковій вибірці зображень з 40 кольорових півтонових зображень різних розмірів із глибиною кольору 24 біта. Порівняння ефективності класичних методів обробки зображень контурів креслень та методів, запропонованих у дисертації, здійснювалось за загальноприйнятими показниками якості: MSE, PSNR, UIQI, SSIM, Recall, Precision, F-measure, Accuracy. Ці показники автоматично розраховувалися із використанням інформаційної технології попиксельного зіставлення зображень з еталоном. Порівняльний статистичний аналіз результатів показав загальне поліпшення показників якості (таблиця 4).

Таблиця 4 – Результат порівняльного аналізу якості попередньої обробки і векторизації растрових форматів контурів деталей машинобудівельних креслень

Метрика	Фільтрація	Бінаризація	Скелетизація	Векторизація
Δ MSE, %	21,92	–	30,67	27,17
Δ PSNR, %	42,50	–	68,78	8,10
Δ UIQI, %	4,94	–	21,74	44,70
Δ SSIM, %	4,86	–	21,65	0,06
Δ Recall, %	–	2,01	21,21	41,64
Δ Precision, %	–	28,22	20,64	-20,81
Δ F-measure, %	–	24,74	20,95	27,93
Δ Accuracy, %	–	14,61	0,57	1,49
Усереднене значення, %	18,55	17,40	25,77	18,61

Результати тестування розробленого методу векторизації за показником Precision гірші, ніж результати, отримані альтернативними методами, бо здебільше в них криві другого порядку апроксимуються полілініями. Така апроксимація дає лише зовнішню схожість із оригіналом за координатами точок контуру, що й оцінюється метрикою Precision. Але ж такий підхід для креслень деталей є неприйнятним, бо призводить до невірної класифікації геометричних примітивів, втрати гомотопності векторного і растрового зображень, втрати геометричних параметрів контурів деталей. На загал це робить результати векторизації непридатними для подальшого редагування штатними засобами векторних редакторів CAD-систем. Використання розробленого методу призвело до покращення якості розпізнавання типів примітивів для: відрізків прямих - на 1,3%, кіл – на 36,81%, еліпсів - на 60%, дуг еліпсів і кіл – на 100%, у середньому на 49,53%. Ці результати свідчать про достовірність й ефективність комплексу розроблених методів у складі АСІД.

ВИСНОВКИ

Розв'язано актуальну наукову задачу розробки комплексу методів, що забезпечують підвищення якості попередньої обробки і векторизації растрових форматів контурів деталей машинобудівельних креслень:

1. На основі аналізу існуючих методів растр-векторного перетворення зображень креслень деталей встановлено, що досі не вирішені питання: збереження мало-

розмірних примітивів контурів деталей, підвищення якості бінарizaції їх зображень з урахуванням характеристик яскравості, особливостей зашумлення, структурних спотворень скелетизованого контуру, недостовірного розпізнавання й параметризації геометричних примітивів із довільною орієнтацією. Особливості предметної області вимагають удосконалення існуючих або розробки нових спеціалізованих методів попередньої обробки і векторизації растрових форматів контурів деталей машинобудівельних креслень.

2. Розроблені правила коригування спотворень геометрії скелетів контурів деталей, у складі яких:

- правила коригування спотворення топології кутів скелета, засновані на застосуванні «шахової» метрики замість «манхетенської» і масок розпізнавання кутів контуру;
- правила коригування порушень зв'язності скелета, засновані на застосуванні розробленої корегуючої маски;
- правила коригування порушень топології скелета в точках перетину геометричних примітивів, засновані на застосуванні розроблених регенеруючих масок і таблиці вибору рішень.

3. Розроблено структурно-лінгвістичний метод векторизації, що забезпечує достовірне розпізнавання й параметризацію відрізків прямих, еліпсів (у тому числі кіл) та їх дуг із довільною орієнтацією, у складі якого:

- метод побудови моделі скелету контуру деталі у вигляді зорієнтованого зваженого графа; вершинами графу виступають характеристичні точки скелету контуру, які визначаються за допомогою розробленого набору шаблонів, а ребрами – сегменти геометричних примітивів скелету, ваги яких визначаються параметрами примітивів;
- метод кодування графа сегментів контуру деталі ланцюговими Фрімен-кодами із застосуванням нового способу огляду околиць точок контуру; метод усуває проблему втрати частини його точок і прискорює процес кодування використанням перспективних напрямків сканування скелета;
- методи розпізнавання й параметризації ребр графа контура деталі, засновані на використанні виявлених структурних закономірностей форм геометричних примітивів креслень деталей, а також вперше сформульованих правил синтаксичного аналізу ребр графа;
- метод розпізнавання композицій примітивів у сегментах контуру деталі, заснований на використанні вперше сформульованих правил рекурсивного бісекціонування й структурно-лінгвістичному аналізі виділених сегментів;
- метод синтезу й оптимізації вектор-контуру деталі, заснований на аналізі зорієнтованого зваженого графа розпізнаних і параметризованих геометричних примітивів з визначенням їх товщини та структур їх зв'язності.

4. Удосконалено методи усунення спотворень у бінарних зображеннях креслень деталей. Запропонований підхід передбачає додаткову обробку бінарного зображення розробленими методами:

- методом контурних масок, який видаляє фонові конгломерати чорних точок за рахунок сепарації точок зображення на контурні й фонові за формами утворених ними атомарних фігур;

– методом усунення контурних спотворень, який усуває чорну «бахрому» навколо контуру деталі й білу «бахрому» - в контурі деталі на основі апертурної просторової фільтрації зображення розробленими масками з асиметричними ядрами.

5. Отримали подальшого розвитку методи усунення спотворень растрових кольорових півтонових зображень креслень деталей, що забезпечують усунення остаточного шуму без втрати малорозмірних примітивів їх контурів. Мета досягається за рахунок:

– ітеративного розмиття шуму σ -фільтром без порушення топології контуру деталі й подальшого зменшення інтенсивності ослабленого шуму автоматичним контрастуванням зображення; параметри σ -фільтра адаптуються до рівня контрастності зображення й інтенсивності шуму;

– апертурної обробки зображення розрідженими ядрами фільтрів підвищення чіткості з адаптацією виду й розміру ядра до рівня шуму; у результаті компенсуються спотворення малорозмірних примітивів.

6. Отримали подальшого розвитку методи бінаризації півтонових зображень, що забезпечують збереження топології контурів деталей:

– розвинуто метод оцінки глобальних порогів бінаризації; на основі аналізу форм і співвідношення мод світла й тіні у гістограмах яскравості враховується глобальна неоднорідність яскравості зображень;

– розвинуто метод оцінки локальних адаптивних порогів бінаризації; на основі аналізу балансу яскравості областей інтересу з квазі-бімодальними гістограмами враховуються локальні особливості яскравості зображень із адаптацією до різних видів носіїв креслення.

7. Розроблено інформаційну технологію попередньої обробки і векторизації растрових форматів контурів деталей, характерною рисою якої є спеціалізація на предметну область і комплексність рішень на всіх етапах растр-векторного перетворення зображень креслень деталей. Комплексний підхід до поетапного розв'язання задачі дозволив істотно покращити метрики оцінки якості: фільтрації растрових кольорових півтонових зображень - на 18,55%, бінаризації фільтрованих зображень - на 17,40%, фільтрації бінарних зображень - на 35,71%, скелетизації бінарних контурів деталей - на 25,77%, розпізнавання форм геометричних примітивів - на 49,53%, параметризації геометричних примітивів - на 18,61%. Це підтверджує достовірність й ефективність розробленого комплексу методів. Розроблений комплекс методів зорієнтовано на використання в автоматизованих системах інженерного документообігу з відображенням машинобудівельних креслень деталей.

СПИСОК РОБІТ, ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз

1. Молчанова В. С. Адаптивный пороговый метод бинаризации растровых изображений технических чертежей // Радиоэлектроника, информатика, управление. – 2015. – 2(33). – С.62-70.

2. Молчанова В. С. Разработка гибридного адаптивного метода подавления шума в растровом образе чертежа детали // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – 4(74). – С.35-43.

3. Чичкарёв Е. А., Молчанова В. С. Модель и метод векторизации растровых изображений машиностроительных чертежей деталей // Проблемы інформаційних технологій. – 2016. – 1(19). – С.64-74.

4. Molchanova V. S. The technique of homotopic skeletonization of bit-mapped drawings of parts of sea transport // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2018. – 1(44). – P. 139-148.

Публікації у фахових виданнях

5. Деглина Ю. Б., Денисова В. С. Автоматные алгоритмы синтеза образов // Искусственный интеллект. – 2008. – №3. – С.290-295.

6. Козловский В. А., Молчанова В. С. Построение автоматных моделей простейших графических примитивов // Искусственный интеллект. – 2010. – №4. – С.375-380.

7. Молчанова В. С. Автоматный алгоритм распознавания геометрических примитивов на растровом изображении // Наук. вісник Чернівецького нац. ун-ту ім. Ю. Федьковича. Серія: комп'ютерні системи та компоненти. – 2012. – Том 3, випуск 2. – С.49-55.

8. Молчанова В. С. Восьмисвязный асимметричный алгоритм скелетизации бинарных изображений // Вісник Сумського держ. ун-ту. Серія: Техн. Науки. – 2013. – №2. – С.43-50.

9. Молчанова В. С. Задача классификации сложных специфических объектов на растровых изображениях технических чертежей // Проблемы інформаційних технологій. – 2014. – 1(15). – С.155-160.

10. Бурса А. Г., Молчанова В. С. Комплекс методов фильтрации сканированных изображений графиков функций // Вісник Приазовського держ. техн. ун-ту. – 2016. – №2(33). – С.159-168.

Матеріали конференцій, де здійснено апробацію роботи

11. Козловский В. А., Молчанова В. С., Деглина Ю. Б. Синтез автоматов представления образов // Сборник тезисов Двенадцатой международной научно-технической конференции «Моделирование, идентификация, синтез систем управления» (Донецк, 16-23 сентября 2009). – Донецк-Москва: ИПММ НАНУ. – 2009. – С.47-48.

12. Молчанова В. С., Деглина Ю. Б. Автоматное представление дуги окружности // Тези доповідей VII міжнародної науково-практичної конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем» (Дніпропетровськ, 25-27 листопада 2009). – Дніпропетровськ: видавництво ДНУ ім. Олеса Гончара. – 2009. – С.190-191.

13. Козловский В. А., Молчанова В. С. Синтез автоматов, описывающих графические примитивы // Збірка праць VI міжнародної науково-технічної конференції

студентів, аспірантів та молодих науковців «Інформатика та комп'ютерні технології» (Донецьк, 23-25 листопада 2010). – Донецьк: ДонНТУ. – 2010. – С.337-342.

14. Молчанова В. С. Модели графических примитивов и их композиций // Збірка матеріалів II Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг» (Донецьк, 11-13 квітня 2011). – Донецьк: ДонНТУ. – 2011. – С.247-250.

15. Козловский В. А., Молчанова В. С., Бурса А. Г. Модель растрового изображения и её преобразование // Тезисы докладов международной конференции «Современные проблемы математики и её приложения в естественных науках и информационных технологиях» (17-22 апреля 2011). – Харьков: Апостроф. – 2011. – С.178-179.

16. Молчанова В. С. (2013). Решение задачи топологического утончения объектов бинарного растра с использованием специализированных агентов // Збірка матеріалів IV Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг». Донецьк: ДонНТУ. – 2013. – С.743-747.

17. Молчанова В. С. Эффективный алгоритм фильтрации изображений в процессе обработки специализированной конструкторской документации. Тезисы докладов международной конференции «Современные проблемы математики и её приложения в естественных науках и информационных технологиях» (29 сентября-4 октября 2014). – Харьков: Апостроф. – 2013. – С.133-134.

18. Молчанова В. С. Метод распознавания характеристических точек скелета контура растрового образа чертежа детали // Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции «Университетская наука – 2015». Мариуполь: ПГТУ. – 2015. – С.193-195.

19. Чичкарев Е. А., Молчанова В. С. Метод формирования векторной модели чертежа детали // Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции «Университетская наука – 2016». Мариуполь: ПГТУ. – 2016. – С.147-148.

20. Молчанова В. С., Чичкарев Е. А. Модель процесса бинаризации в задаче растр-векторной трансформации изображений машиностроительных чертежей деталей // Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем» (Київ, 5-9 грудня 2016). – Кіровоград: Центр оперативної поліграфії «Авангард». – 2016. – С.182-187.

АНОТАЦІЯ

Молчанова В.С. Комплекс методів попередньої обробки і векторизації растрових форматів контурів деталей машинобудівельних креслень – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 - Інформаційні технології. ДВНЗ «ПДТУ», Маріуполь, 2018.

Дисертація присвячена розв'язанню актуальної наукової й практичної задачі розробки комплексу методів попередньої обробки й векторизації растрових форматів контурів деталей машинобудівельних креслень. Використання такого комплексу в автоматизованих системах інженерного документообігу дозволяє зменшити долю ручної праці й терміни створення електронних архівів креслень, підвищити їх якість.

У результаті досліджень виявлено специфічні особливості растрових зображень креслень деталей, що не дозволяють отримати задовільний результат при обробці зображень стандартними методами: необхідність збереження тонких ліній і малорозмірних примітивів, нерівномірна яскравість і контрастність фону.

Запропоновані в дослідженні комплекси методів фільтрації, бінаризації, скелетизації та векторизації утворюють цілісну інформаційну технологію трансформації растрових зображень машинобудівельних креслень деталей у гомотопні їм векторні образи. Ця технологія передбачає послідовне застосування комплексу методів, спеціалізованих на виконання кожного етапу обробки зображень.

Результат порівняльного аналізу розробленого комплексу методів на тестових зразках показав істотне поліпшення базових показників якості у порівнянні з альтернативними методами. Практичне значення отриманих результатів дослідження підтверджено актами впровадження на промислових підприємствах і у навчальний процес ВНЗ.

Ключові слова: креслення, растрове зображення, векторний образ, фільтрація, бінаризація, скелетизація, розпізнавання, параметризація, векторизація, документ.

АННОТАЦИЯ

Молчанова В.С. Комплекс методов предварительной обработки и векторизации растровых форматов контуров деталей машиностроительных чертежей – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 - Информационные технологии. ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь, 2018.

Диссертация посвящена решению актуальной научной и практической задачи разработки комплекса методов предварительной обработки и векторизации растровых форматов контуров деталей машиностроительных чертежей. Использование такого комплекса в автоматизированных системах инженерного документооборота позволяет уменьшить долю ручного труда и строки создания электронных архивов чертежей, повысить их качество.

В результате исследований выявлены специфические особенности растровых изображений чертежей деталей, не позволяющие получить удовлетворительный результат при обработке изображений стандартными методами: необходимость сохранения тонких линий и малоразмерных примитивов, неравномерная яркость и контрастность фона.

Предложенные в исследовании комплексы методов фильтрации, бінаризації, скелетизации и векторизации образуют целостную информационную технологию трансформации растровых изображений машиностроительных чертежей деталей в гомотопные им векторные образы. Эта технология предусматривает последовательное применение комплекса методов, специализированных на выполнение каждого этапа обработки изображений.

Результат сравнительного анализа разработанного комплекса методов на тестовых образцах показал существенное улучшение базовых показателей качества в сравнении с альтернативными методами. Практическое значение полученных ре-

зультатов исследования подтверждено актами внедрения на промышленных предприятиях и в учебный процесс ВУЗа.

Ключевые слова: чертеж, растровое изображение, векторный образ, фильтрация, бинаризация, скелетизация, контур, распознавание, параметризация, векторизация, документ.

ABSTRACT

Molchanova V.S. Complex of methods for preliminary processing and vectorization of raster formats of contours of parts of engineering drawings - Manuscript.

Thesis on the obtaining of scientific degree of candidate of technical sciences in speciality 05.13.06 - Information Technology. SHEI «PSTU», Mariupol, 2018.

The thesis is devoted to solving the actual scientific and practical problem of developing a set of methods for preliminary processing and vectorization of raster images of parts drawings. The use of such a complex in automated systems of engineering document circulation allows to reduce the share of manual labor and the line for creating electronic archives of drawings, to improve their quality.

As a result of the research, specific features of raster images of detail drawings that do not allow to obtain a satisfactory result when processing images by standard methods are revealed: the need to preserve fine lines and small size primitives, uneven brightness and background contrast.

The complexes of filtration, binarization, skeletonization and vectorization methods proposed in the study form an integral information technology for transforming raster images of machine-building drawings of parts into homotopic vector images. This technology provides for the consistent application of a set of methods specialized in performing each stage of image processing.

The result of the comparative analysis of the developed set of methods on test samples showed a significant improvement in the basic quality indicators in comparison with alternative methods. The practical significance of the research results obtained is confirmed by acts of implementation at industrial enterprises and in the educational process of the university.

Keywords: drawing, raster image, vector image, filtration, binarization, skeletonization, contour, recognition, parametrization, vectorization, document.

Підписано до друку
Друк резогграф.
Тираж 100 прим.

Формат 60×90/16
Умов. друк. арк. 1
Заказ №

