

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

СЕРГІЄНКО АНАСТАСІЯ ВАЛЕНТИНІВНА



УДК 004.4/9'24:669.162.266.242

**МОДЕЛІ ТА МЕТОД ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ
НОМЕРА ЧАВУНОВІЗНОГО КОВША ЗА ЙОГО ЗАШУМЛЕНИМ
ФОТОЗОБРАЖЕННЯМ**

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Сєвєродонецьк – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інформатики Державного вищого навчального закладу «Приазовський державний технічний університет» Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Каргін Анатолій Олексійович,
Український державний університет залізничного транспорту

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Філатов Валентин Олександрович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки
завідувач кафедри штучного інтелекту

кандидат технічних наук, доцент
Барбарук Віктор Миколайович,
Східноукраїнський національний університет імені
Володимира Даля
директор Центру удосконалення освіти

Захист відбудеться «22» квітня 2021 р. об 11.00 на засіданні спеціалізованої вченої ради К 29.051.16 у Східноукраїнському національному університеті імені Володимира Даля за адресою: 93400, м. Сєвєродонецьк, вул. Донецька, 43.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля за адресою: 93400, м. Сєвєродонецьк, вул. Донецька, 43.

Автореферат розісланий «20» березня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради К 29.051.16, кандидат
технічних наук, доцент



С.О. Сафонова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. З розвитком інформаційних технологій все більш з'являється промислових систем, де застосовуються технології обробки зображень: діагностика, прогнозування, моніторинг стану об'єктів і довкілля, системи контролю і обмеження доступу, системи розпізнавання тексту та інші. Важливе місце посідають завдання в яких особливі шкідливі або небезпечні виробничі умови вимагають виключення людини з контуру контролю й управління. Серед них конверторне виробництво сталі на металургійному підприємстві.

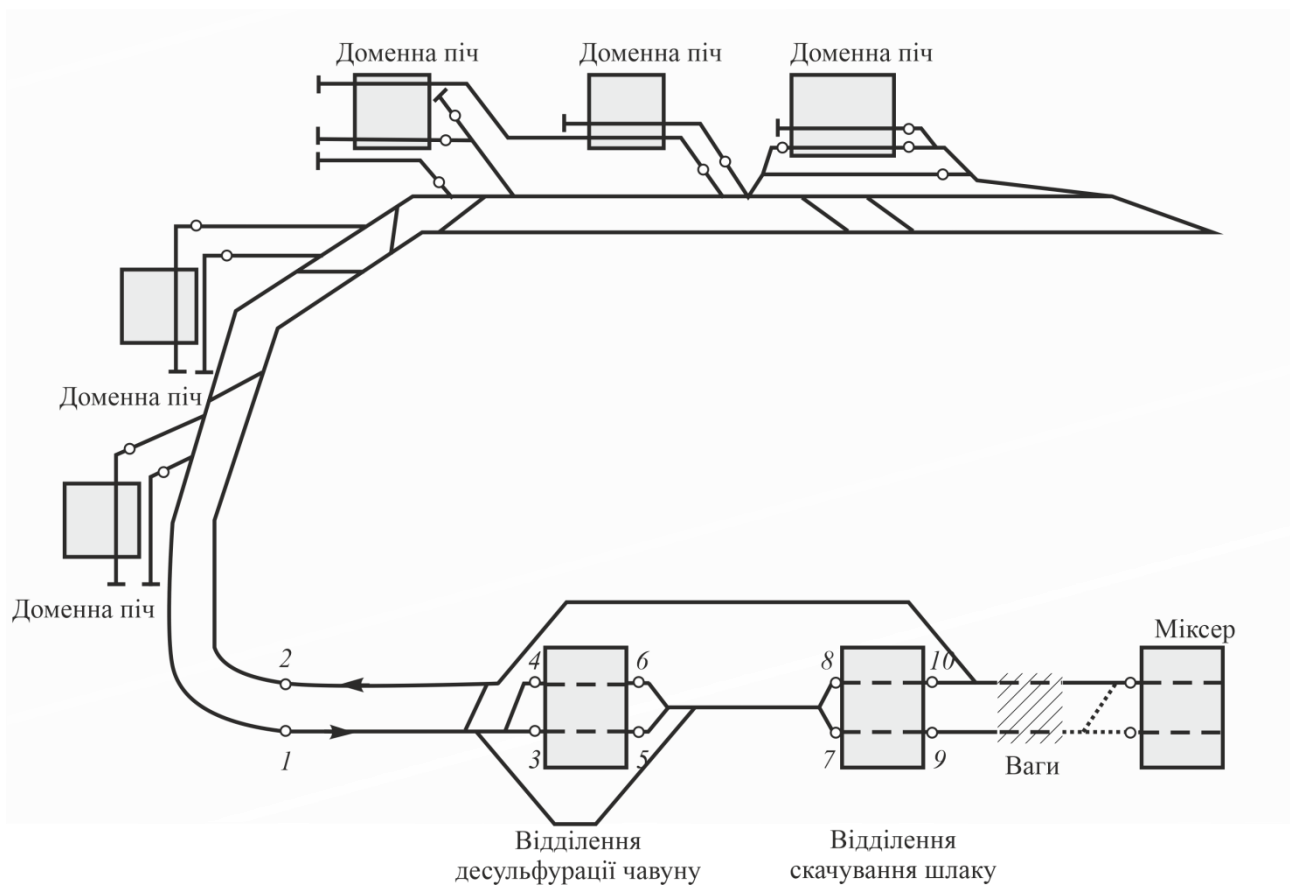


Рисунок 1 – Схема руху чавуновізних ковшів

Чавуновізні ківші використовуються при виробництві сталі для транспортування чавуну з доменних печей (ДП) до киснево-конвертерного цеху (ККЦ). Ківші пересуваються на спеціальних платформах залізною дорогою (рис.1.). Пересуваючись, ківші зазнають технологічної обробки: наливання чавуну під доменними печами; формування туру з декількох ківшів; транспортування ківшів від доменної печі до відділення десульфурації чавуну (ВДЧ); транспортування ківшів від ВДЧ до відділення скачування шлаку (ВСШ); скачка шлаку в ВСШ; транспортування ківшів від ВДЧ до вагів; транспортування ківшів від ВСШ до вагів; зважування ківшів при короткочасній зупинці на вагах (1-3 хвилини); транспортування ківшів від вагів в міксерне відділення ККЦ; переливання чавуну з ківшів у міксери ККЦ.

Ідентифікувати ківші по номерах на платформі неможливо, оскільки цей підхід не враховує зміну відповідності платформа/ківш, що виникає відповідно до технологічного процесу. Помилки при ідентифікації ківша призводять до помилок в обліку стану ківшів та чавуну, що транспортується. Тому на існуючих виробництвах в системі, що стежить за пересуванням і станом чавуну, облік виконує людина на підставі ідентифікації номерів чавуновізних ківшів.

На ківшах вапном вручну нанесені номери, адже наносити номери через трафарет внаслідок особливостей технологічного процесу – висока температура (близько 1200 °С) та необхідність бути постійно в роботі (тобто після закінчення одного туру, ківш бере участь в наступному) неможливо. В дисертаційній роботі розглядається варіант заміни людини, що виконує операцію візуального контролю номеру ковша на чавуновозі у шкідливих умовах, на інформаційну технологію що базується на обробці фотозображень та ідентифікації номерів ківшів.

Аналіз літературних джерел підтвердив перспективність цього підходу до рішення задачі ідентифікація ківша за його фотозображенням. Таким чином, актуальним завданням є розробка нової інформаційної технології ідентифікації такого класу об'єктів за його зашумленим фотозображенням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дослідження, результати яких викладені в дисертації, проводилися на кафедрі інформатики у Державному вищому навчальному закладі «Приазовський державний технічний університет» відповідно до державних програм і планів НДР, де здобувач брав участь як виконавець окремих розділів:

- НДР «Інформаційні технології в наукових дослідженнях, навчальному процесі, бізнесі та виробництві» (ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», номер державної реєстрації № 0118U006923, 2018-2019 рр.);
- НДР «ІТ в наукових дослідженнях, навчальному процесі, бізнесі та виробництві» (ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», номер державної реєстрації № 0119U103133, 2019-2020 рр.).

Авторка є одним з виконавців робіт з цієї теми.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є звільнення людини від виконання операцій контролю у шкідливих умовах та підвищення достовірності обліку чавуну на основі нової інформаційної технології ідентифікації об'єкту за його зашумленим фотозображенням.

Для досягнення мети в роботі вирішуються наступні завдання:

- обґрунтування та вибір методу попередньої обробки зображення для поліпшення його якості;
- обґрунтування та вибір методу локалізації інформативних областей на зображенні та попередньої обробки;
- обґрунтування та вибір методу ідентифікації об'єкту на фотозображенні шляхом порівняння локалізованого зображення з еталонним на основі нечіткої характеристики;
- розробка пакету прикладних програм на основі обраних і розроблених методів;

– перевірка ефективності запропонованої технології на реальному об'єкті.

Об'єкт дослідження – ідентифікація зашумлених зображень.

Предмет дослідження – автоматизація обліку чавуновізнних ківшів по фотозображенню їх номеру.

Методи дослідження: методи обробки зображень, методи фільтрації і бінаризації, теорії експерименту і комп'ютерного моделювання для перевірки адекватності розроблених методів, апарат нечітких множин, методи об'єктно-орієнтованого проектування, методи, засоби і технології об'єктно-орієнтованого програмування.

Наукова новизна результатів досліджень полягає у наступному:

– *вперше розроблено* модель й метод порівняння локалізованого зображення з еталонним на основі нечіткої характеристики зображення, яка на відміну від існуючих враховує різний розмір нанесених на ківші номерів, різну освітленість вхідних фотозображень, нанесення номерів вручну без трафарету, наявність шумів;

– *удосконалено* метод неповної порогової глобальної бінаризації зображення, який на відміну від існуючих виконує у автоматичному режимі розрахунок порогу, що покращує ефективність подальшої локалізації інформативної області на зображенні;

– *набула подальшого розвитку* інформаційна технологія ідентифікації зображень із завадами, що базується на запропонованому підході локалізації інформативної області за допомогою кластеризації методом пошуку найближчого сусіда з модифікацією пошуку використанням ковзного вікна.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому що:

1) розроблені і вдосконалені методи обробки, застосовані в інформаційній технології ідентифікації номера на зображенні, є універсальним засобом, який може використовуватися в завданнях розпізнавання та ідентифікації об'єктів на зображенні.

2) методи обробки зображення на основі методів попередньої обробки – фільтрації та бінаризації зображення, локалізації інформативної області на зображенні та ідентифікації порівнянням локалізованого зображення з еталонним на основі нечіткої характеристики – реалізовані у вигляді пакету прикладних програм, що дозволяє використати їх в різних завданнях систем комп'ютерного зору.

Розроблена в дисертаційній роботі інформаційна технологія протестована в практичних умовах ККЦ ПрАТ «ММК ім. Ілліча» та схвалена для впровадження для роботи (акт від 27.07.2020). Матеріали дисертації використані в НДР на кафедрі інформатики ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» та впроваджені в навчальний процес на кафедрі інформатики Приазовського державного технічного університету в курсах дисциплін «Алгоритмізація та програмування», «Теорія алгоритмів», «Теорія програмування», «Сучасні скриптові мови програмування» (акт від 18.08.2020).

Особистий вклад претендента. Усі результати наукових і практичних дисертаційних досліджень отримані і розроблені авторкою самостійно. Роботи

[4, 9, 14, 16-22, 24] написано одноосібно. У роботах, написаних в співавторстві та опублікованих в профільних виданнях, вклад претендента в наступному: [1, 2] – розробка математичної моделі ідентифікації номера чавуновізного ковша за сегментом зображення порівнянням його з еталонним сегментом; [3, 4, 5, 6, 7] – розробка математичної моделі локалізації інформативних областей і проведення експериментів.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові результати і положення дисертаційної роботи докладалися на міжнародних науково-практичних конференціях «Університетська наука» (Приазовський державний технічний університет, Маріуполь, 2008 – 2020), «Гиротехнології, навігація, управління рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут, Київ, 2013), «Інформаційні технології і інформаційна безпека в науці, техніці і утворенні «ИНФОТЕХ – 2013 (Севастопольський національний технічний університет, Севастополь, 2013), «Наукові дослідження молоді – інновації в науці та практиці» (Приазовський державний технічний університет, Маріуполь, 2013), «Актуальні питання розвитку інформаційних технологій», (Приазовський державний технічний університет, Маріуполь, 2019), The XI-th International scientific and practical conference «Theoretical foundations of modern science and practice» (International Sciences Group, Melbourne, Australia, 2020), Visioner-2020: наукове передбачення (Київ, 2020).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 26 наукових праць, у тому числі 7 статей – з них: 5 – у спеціалізованих виданнях, 2 – у виданнях, цитованих у науково-метричних базах Web of Science, Index Copernicus, РІНЦ та ін. і 19 публікацій – у збірниках праць наук.-техн. конф. Загальний обсяг публікацій склав 4,89 друк. арк.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та 3 додатків. Повний обсяг дисертації становить 157 с. основного тексту, 65 рис., 12 табл., 4 дод. на 10 с., список із 109 джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність і доцільність роботи, сформульована мета, завдання, об'єкт, предмет, методи дослідження, відображена наукова новизна і практична цінність роботи, приведені відомості про особистий вклад претендента, апробації, публікації і структура дисертації.

У першому розділі показано, що проблему ідентифікації чавуновізного ковша у контурі автоматизації обліку продукції на металургійному підприємстві може бути подолано, якщо вирішити завдання автоматичної обробки зашумленого зображення номеру, який нанесено на ківші. З цієї точки зору наведено аналіз інформаційних технологій, використовуваних при розробці систем технічного зору. На основі аналізу вирішено, що застосування обробленого зображення – необхідний етап при розробці системи комп'ютерного зору.

Аналіз літературних джерел показав, що розроблені системи і програмні продукти мають ряд недоліків: нестійкість до поганої якості умов освітлення; процес локалізації номерів на об'єктах можливий лише за умови нанесення чисел за допомогою трафаретів; програми використовують прив'язку до шаблонів номерних знаків транспортних засобів конкретних країн, для яких вони розроблені.

Визначено, що обробка даного типу зображень включатиме етапи: попередня обробка (фільтрація та бінаризація); локалізація; ідентифікація.

У другому розділі запропонована інформаційна технологія ідентифікації номера чавуновізного ковша, що передбачає поетапну обробку графічних даних: попередню обробку (фільтрацію та бінаризацію) та локалізацію номера.

На першому етапі (попередня обробка) для першої її фази – фільтрації – обґрунтовується використання методу медіанної фільтрації.

Для другої фази попередньої обробки – бінаризації – обґрунтовується застосування методу неповної порогової бінаризації глобальною бінаризацією із автоматичним розрахунком порогового значення на основі низькорівневої характеристики зображення – його середньої яскравості.

Для другого етапу (локалізація) обґрунтовується виконання локалізації через сегментацію на основі кластеризації за правилом найближчого сусіда, що модифіковано використанням ковзного вікна. Проводиться порівняння із іншими відомими методами та робиться висновок про доцільність обрання цього методу. Приклади початкових зображень ківшів показані на рис. 2.



Рисунок 2 – Вихідні фотозображення ківшів № 08, 022 та № 030

Обробка по запропонованому методу виконується таким чином.

На вхід системи поступає зображення в градаціях сірого кольору, ширина і висота якого $m \times n$. Зображення характеризується функцією яскравості, формула (1):

$$I = \{ p_{x,y} \mid x \in \{0, \dots, m-1\}, y \in \{0, \dots, n-1\} \}, \quad (1)$$

де m – ширина зображення, n – висота зображення, кожен піксель $p_{x,y}$ характеризується функцією яскравості $f(p_{x,y}) \rightarrow [0,1]$.

Обчислюється середня яскравість фотографії.

Виконується неповна порогова обробка глобальною бінаризацією зображення. Поріг бінаризації розраховується автоматично за формулою (2), що було підібрано експериментальним шляхом:

$$T = 2 \cdot \bar{F} - \bar{F}^2 \quad (2)$$

Перетворене за модифікованим методом бінаризації зображення показано на рис. 3.



Рисунок 3 – Порогове перетворення вхідного зображення



Рисунок 4 – Перетворення вхідного зображення – розбиття на сегменти

Для подальшої обробки зображення, отримане після порогового перетворення, розбивається на рівні осередки як показано на рис. 4. Кількість розбиття по ширині – kx , по висоті – ky . Значення kx та ky було обрано експериментально. Ширина осередку – $px = m/kx$ пікселів, його висота – $py = n/ky$.

Для кожного осередку розраховують середню яскравість $M_{i,j}$ за формулою (3):

$$M_{i,j} = \frac{\sum_{l=0}^{px-1} \sum_{k=0}^{py-1} \varphi_{l,k}}{px \cdot py} \quad (3)$$

де $i \in [0, kx - 1]$, $j \in [0, ky - 1]$, $l \in [0, px - 1]$, $k \in [0, py - 1]$.

По методу найближчого сусіда для кожного об'єкту поза кластером обробка відбувається таким чином: знаходимо його найближчого сусіда, кластер якого визначений; якщо відстань до цього сусіда менше порогу, то відносимо його в той самий кластер, інакше з даного об'єкту створиться ще один кластер; далі розглядається результат і при необхідності збільшується

поріг, наприклад, якщо багато кластерів з одного об'єкту.

За основу обираємо метод, що наведено, та робимо кластеризацію, модифікувавши пошук найближчого сусіда використанням ковзного вікна, як показано на рис. 5.

Відповідно до масиву M утворюється масив K , що містить імена кластерів. Перед обробкою усі елементи належать нульовому кластеру. Якщо аналізоване значення $M_{i,j}$ має яскравість більше порогу σ – те відповідному значенню $K_{i,j}$ призначається ім'я кластера, яке вже присвоєне одному з елементів в апертурі, – $K_{i-1,j}$, $K_{i+1,j}$, $K_{i,j-1}$ або $K_{i,j+1}$, якщо ж це ім'я «0» – то $K_{i,j}$ дається нове ім'я, наступне по рахунку число після вже присвоєних.

Для локалізації інформативної області аналізується масив K – підраховується кількість елементів в кожному кластері. Інформативною областю вважається кластер, що має найбільшу кількість елементів. Навколо цього кластера по точках, що сильніш за все випинають, описується прямокутник, координати пікселів, що входять в прямокутник, фіксуються. Для проведення наступного етапу – ідентифікації, по локалізованій області формується вихідний сегмент (рис. 6).

У третьому розділі запропоновано для використання метод ідентифікації на основі нечіткого порівняння з еталонним сегментом. В якості еталону пропонується використовувати сегмент, що представлений нечіткою моделлю зображення з локалізованої області, на якій нанесено номер ковша. Описана загальна ідея, а також детально наводяться етапи обробки за методом: етап обчислення координат характеристичної точки та формування ядер й етап фазифікації і обчислення відносної відстані Хеммінга.

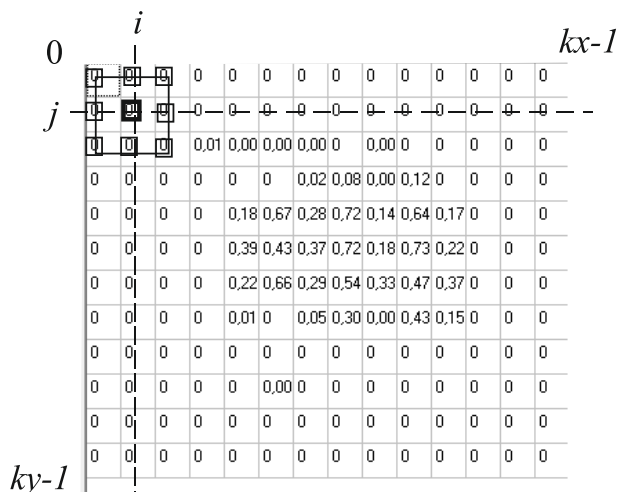


Рисунок 5 – Кластеризація масиву M методом найближчого сусіда з використанням ковзного вікна



Рисунок 6 – Приклади виділених областей інтересу

Ідея методу полягає в наступному:

– знайти загальну область двох різних за розміром сегментів, що зіставляються – *ядро*;

- зв'язати з цим ядром систему координат і перерахувати піксельне представлення обох зображень в одну систему координат;
- помістити початок системи координат ядра в характеристичну точку представлення зображення цифр номера;
- фазифікувати зображення і нечітко їх порівняти (фазифікація зводиться до розбиття бінаризованих піксельних представлень на блоки і побудови нечітких множин).

Завдання розбивається на підзадачі:

- 1) обчислення координат характеристичної точки і формування ядра сегменту;
- 2) фазифікація та обчислення відносної відстані Хеммінга.

Як характерна точка прийнята точка, що розташовується в центрі цифр на сегменті зображення та розраховується як центр тяжіння зображення за формулою (4).

$$\hat{x} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M j \cdot f_{i,j}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M f_{i,j}}, \quad \hat{y} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M i \cdot f_{i,j}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M f_{i,j}}, \quad (4)$$

де $f_{i,j} \in [0,1]$ – функція яскравості зображення.

На рис. 7 показані результати визначення центру тяжіння зображень. Видно, що він знаходиться в центрі цифр на сегменті зображення, і, отже, висунене припущення вірне.

Аналізований сегмент і еталон задаються двома характеристиками: множиною координат

$$A = \{(i, j) | i = \overline{1, N_1}; j = \overline{1, M_1}\}, \quad B = \{(i, j) | i = \overline{1, N_2}; j = \overline{1, M_2}\}$$

і множиною функцій яскравості

$$f_A : A \rightarrow [0,1], \quad f_B : B \rightarrow [0,1],$$

де N_1 і M_1 , N_2 і M_2 – ширина і висота аналізованого сегменту і еталону в пікселях, відповідно.

Сегменти A і B представлені на рис. 8.

Поеднаємо сегменти A і B у характерній точці, як показано на рис. 9, та помістимо в ній новий початок координат. Межі сегментів A і B у такій системі координат перерахуємо за формулою (5):

$$\begin{aligned}
P_1 &= 1 - \hat{x}_A; P_2 = N_1 - \hat{x}_A; \\
Q_1 &= \hat{y}_A - 1; Q_2 = \hat{y}_A - M_1; \\
K_1 &= 1 - \hat{x}_B; K_2 = N_2 - \hat{x}_B; \\
L_1 &= \hat{y}_B - 1; L_2 = \hat{y}_B - M_2.
\end{aligned} \tag{5}$$

Нова множина координат пікселів для сегментів A і B визначається як:

$$A' = \{(p, q) | p = \overline{P_1, P_2}; q = \overline{Q_1, Q_2}\}, B' = \{(k, l) | k = \overline{K_1, K_2}; l = \overline{L_1, L_2}\}.$$

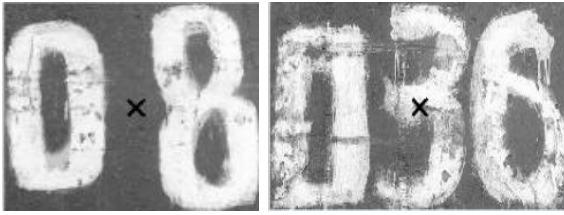


Рисунок 7 – Приклад проаналізованих зображень
× – центр тяжіння зображення

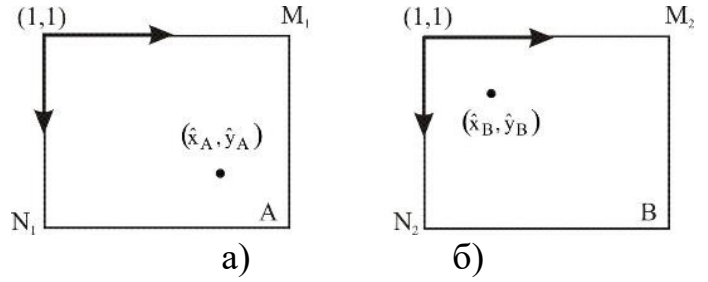


Рисунок 8 – Сегменти фотозображень
а) вхідний сегмент; б) – еталон;
 $(\hat{x}_A, \hat{y}_A), (\hat{x}_B, \hat{y}_B)$ – відповідні центри тяжіння зображень

Функція яскравості сегментів A' і B' перераховується по функції яскравості сегментів A і B :

$$f_{A'}(p, q) = f_A(i, j); f_{B'}(k, l) = f_B(i, j),$$

де координати (p, q) і (k, l) для сегментів A і B зіставляються з колишніми координатами (i, j) за формулою (6):

$$\begin{aligned}
p &= \varphi_A(i); q = \xi_A(j); & k &= \varphi_B(i); l = \xi_B(j); \\
\varphi_A(i) &= p = i - \hat{x}_A; & \varphi_B(i) &= k = i - \hat{x}_B; \\
\xi_A(j) &= q = \hat{y}_A - j; & \xi_B(j) &= l = \hat{y}_B - j.
\end{aligned} \tag{6}$$

В результаті перетину координатних множин A' і B' формуються ядра сегментів: A'' і B'' , межі яких розраховуються по формулі (7):

$$W_1 = \begin{cases} \hat{x}_A, & \hat{x}_A \leq \hat{x}_B \\ \hat{x}_B, & \hat{x}_A > \hat{x}_B \end{cases} \quad W_2 = \begin{cases} N_1 - \hat{x}_A, & N_1 - \hat{x}_A \leq N_2 - \hat{x}_B \\ N_2 - \hat{x}_B, & N_1 - \hat{x}_A > N_2 - \hat{x}_B \end{cases} \tag{7}$$

$$H_1 = \begin{cases} \hat{y}_A, & \hat{y}_A \leq \hat{y}_B \\ \hat{y}_B, & \hat{y}_A > \hat{y}_B \end{cases} \quad H_2 = \begin{cases} M_1 - \hat{y}_A, & M_1 - \hat{y}_A \leq M_2 - \hat{y}_B \\ M_2 - \hat{y}_B, & M_1 - \hat{y}_A > M_2 - \hat{y}_B \end{cases}$$

$$W = W_1 + W_2; \quad H = H_1 + H_2$$

де W – ширина утворюваного ядра; H – висота утворюваного ядра.

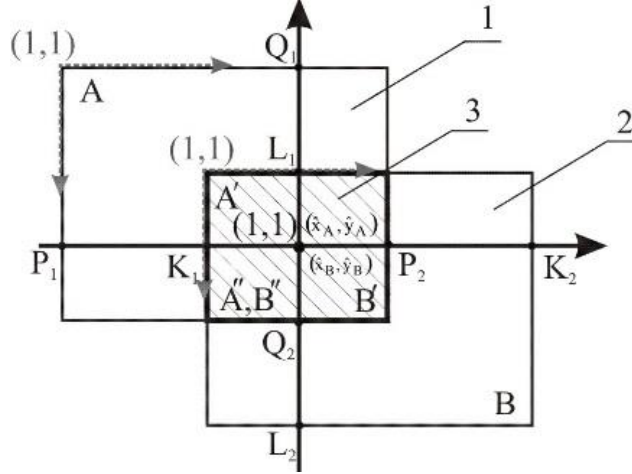


Рисунок 9 – Формування ядер сегментів
1 – вхідний сегмент; 2 – еталон; 3 – ядро;
 $(\hat{x}_A, \hat{y}_A), (\hat{x}_B, \hat{y}_B)$ – відповідні центри тяжіння зображень

Для ядра, виділеного з сегменту A' характеристики задаються множиною координат:

$$A'' = \left\{ (p, q) \mid p = \overline{\hat{x}_A - W_1, \hat{x}_A + W_2}; q = \overline{\hat{y}_A - H_1, \hat{y}_A + H_2} \right\},$$

для ядра виділеного з сегменту B' – множиною координат:

$$B'' = \left\{ (k, l) \mid k = \overline{\hat{x}_B - W_1, \hat{x}_B + W_2}; l = \overline{\hat{y}_B - H_1, \hat{y}_B + H_2} \right\}.$$

Функція яскравості сегментів A'' і B'' відповідають функції яскравості сегментів A' і B' : $f_{A''}(p, q) = f_{A'}(p, q)$, $f_{B''}(k, l) = f_{B'}(k, l)$

Бінаризуємо $\{f^{A''}\}, \{f^{B''}\}$:

$$g^A = \begin{cases} 0, & f^{A''} < T \\ 1, & f^{A''} \geq T \end{cases}, \quad g^B = \begin{cases} 0, & f^{B''} < T \\ 1, & f^{B''} \geq T \end{cases} \quad (8)$$

де $T \in [0, 1]$ – поріг яскравості, визначуваний експериментально.

Розбиваємо $\{A''\}, \{B''\}$ на блоки $\Omega_{i,j}$ розміром $n \times n$, як показано на рис. 10. Кількість блоків для множин $\{A''\}, \{B''\}$ розраховуємо:

$$C = \text{round}(W/n); D = \text{round}(H/n).$$

Множину блоків ядер зображення і еталону позначимо:

$$\Omega^A = \{\Omega_{r,s}^A \mid r = \overline{1, C}; s = \overline{1, D}\}, \quad \Omega^B = \{\Omega_{r,s}^B \mid r = \overline{1, C}; s = \overline{1, D}\}$$

Окремі блоки $\Omega_{r,s}^A$ і $\Omega_{r,s}^B$ множин Ω^A і Ω^B , відповідно, задаються двома характеристиками: множиною координат пікселів, що входять у блок:

$$\Omega_{r,s}^A = \Omega_{r,s}^B = \{(i, j) \mid i = \overline{(C-1) \cdot n + 1, C \cdot n}, j = \overline{(D-1) \cdot n + 1, D \cdot n}\},$$

і множиною бінаризованих функцій яскравості :

$$g_A : \Omega_{r,s}^A \rightarrow [0, 1], \quad g_B : \Omega_{r,s}^B \rightarrow [0, 1].$$

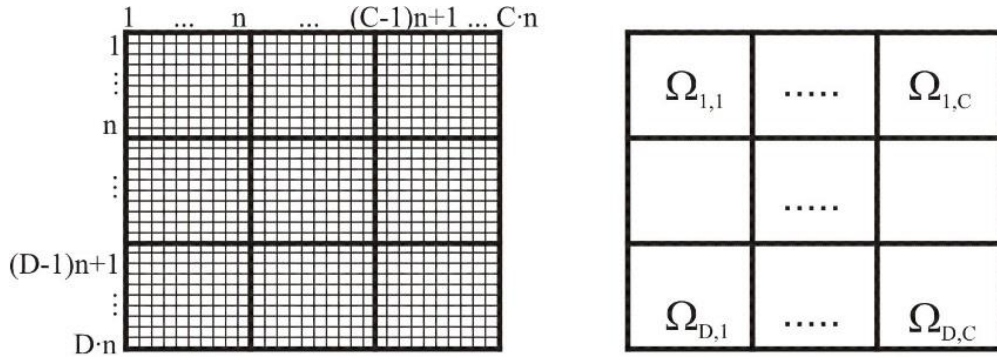


Рисунок 10 – Розбиття на блоки бінаризованої множини

Вводимо дві нечіткі множини $\tilde{\Omega}^A, \tilde{\Omega}^B$, які визначені на універсальних множинах Ω^A, Ω^B . Функції належності:

$$\mu_{\tilde{\Omega}^A}(r, s) = \frac{\sum_{i,j \in \Omega_{r,s}^A} g_A(i, j)}{|\Omega_{r,s}^A|}, \quad \mu_{\tilde{\Omega}^B}(r, s) = \frac{\sum_{i,j \in \Omega_{r,s}^B} g_B(i, j)}{|\Omega_{r,s}^B|}. \quad (9)$$

В результаті отримуємо нечіткі множини:

$$\tilde{\Omega}^A = \{(r, s) \mid \mu_{\tilde{\Omega}^A}(r, s)\}, \quad \tilde{\Omega}^B = \{(r, s) \mid \mu_{\tilde{\Omega}^B}(r, s)\}. \quad (10)$$

Потім згідно [6], знаходимо відносну відстань Хеммінга:

$$\rho(\Omega^A, \Omega^B) = \frac{\sum_{r=1}^C \sum_{s=1}^D |\mu_{\Omega^A}(r, s) - \mu_{\Omega^B}(r, s)|}{|\Omega^A|} \quad (11)$$

Для аналізованого сегменту і усіх еталонів, наявних у БД, розраховуємо значення відносної відстані Хеммінга $\rho(\Omega^A, \Omega^B)$ і сортуємо їх за зменшенням:

$$\rho(\Omega^{A_1}, \Omega^{B_1}) \leq \rho(\Omega^{A_2}, \Omega^{B_2}) < \dots < \rho(\Omega^{A_N}, \Omega^{B_N}).$$

Проведені комп'ютерні експерименти, в яких визначені необхідні параметри для успішної обробки за запропонованим методом – розмір блоків, розмір порогу яскравості. А також виконані експерименти з ідентифікації, за якими достовірність ідентифікації склала близько 98 %, що дозволяє підтвердити доцільність використання запропонованого методу.

Четвертий розділ присвячено розробленій на основі запропонованих моделі й методу інформаційній технології ідентифікації номера за його зашумленим фотозображенням. Розглядається загальна структура автоматизованої системи ідентифікації номера чавуновізного ківша в умовах виробництва (рис. 11), місце в ній розробленого пакету прикладних програм та взаємодія модулів пакету.

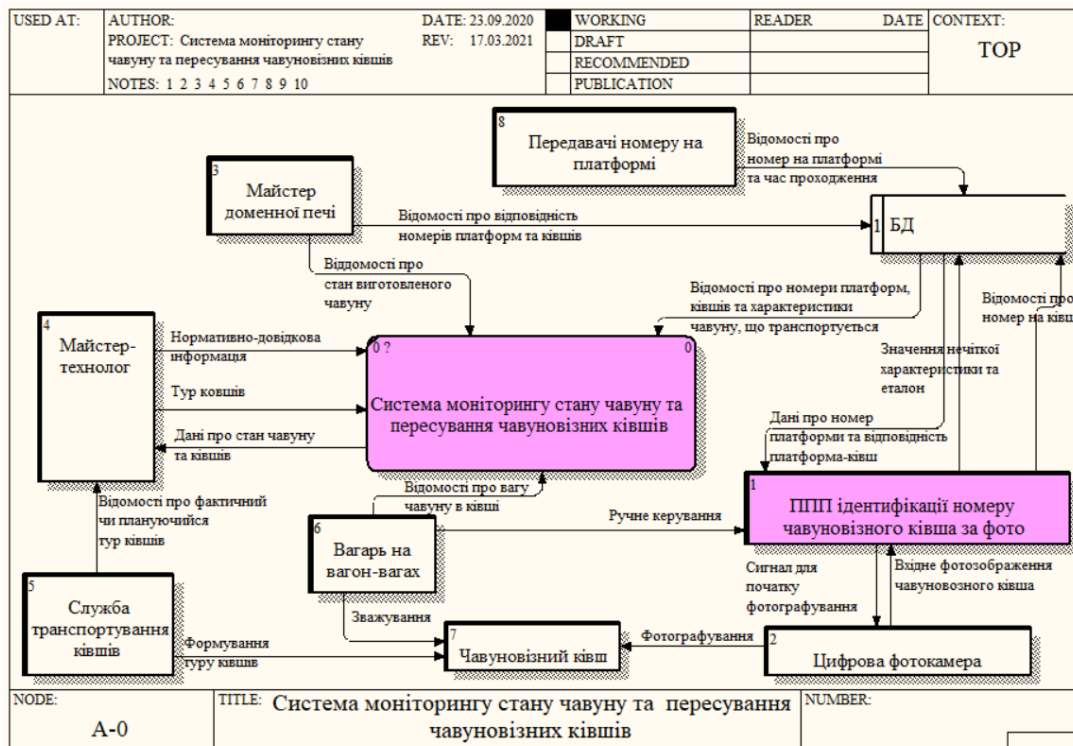


Рисунок 11 – Інформаційні потоки в системі моніторингу стану чавуну та пересування чавуновізних ківшів

На основі методів, що описані в розділах 2 та 3 розроблено пакет прикладних програм для підтримки інформаційної технології. Пакет складається з модулів: PrImage, LocArea, IdNum, що мають наступні функціональні можливості.

Модуль PrImage реалізує попередню обробку. На вхід для обробки подається зображення в градаціях сірого кольору, що має певну ширину і висоту. На виході отримується фільтроване й бінаризоване зображення такого ж розміру, яке подається на вхід модуля LocArea. В результаті роботи модуля локалізується інформативна область, що містить зображення номера ковша. По локалізованій області формується сегмент, що передається далі на вхід модуля IdNum, що реалізовує нечітке порівняння з еталонними сегментами, що зберігаються у базі та видає номер еталону відповідне значення якого є найменшим. На рис. 12 показана структурна схема пакету.



Рисунок 12 – Структурна схема пакету

Експерименти з ідентифікації номера проводилися з метою дослідження закономірностей та параметрів:

- впливу зашумленості фону на результати ідентифікації;
- допустимого діапазону функції яскравості зображень;
- діапазону порогу бінаризації, при якому покращується якість зображення для локалізації;
- якості локалізації на основі низькорівневих характеристик зображення;
- якості локалізації кластеризацією методом найближчих сусідів з модифікацією ковзним вікном; вплив бінаризації на визначення центру тяжіння зображення;
- якості ідентифікації розробленим методом; працездатність методу за різних атмосферних умов;
- працездатності методу при різній освітленості та за наявності інших об'єктів, відмінних від номера.

На рис. 13 показаний результат одного з експериментів з порівняння еталонів ківша № 026 та фото ківшів: № 01, 03, 08, 022, 026, 030, 033, 034, 036, 037, 038, 039, 040, 043, 056. Серед аналізованих фото розглядалось два фото ківша № 026, отримані за різних умов освітлення.

Проведені дослідження встановили, що метод є:

- завадостійким і також дозволяє ідентифікувати правильно номер із слабкими перепадами яскравості на зображенні;
- для перевірки методу порівняння з еталоном із застосуванням нечіткої характеристики зображення були проведені групи експериментів по: виділенню ядра при поєднанні зображення і еталону по центру тяжіння; розмірів розбиття для ядра для розрахунку нечіткої характеристики і відстані Хеммінга. Результати підтвердили можливість ідентифікації за допомогою запропонованого методу. Застосування цього методу дозволяє виконувати шрифтонезалежне розпізнавання, без виконання масштабування символів для зображень з шумним фоном.

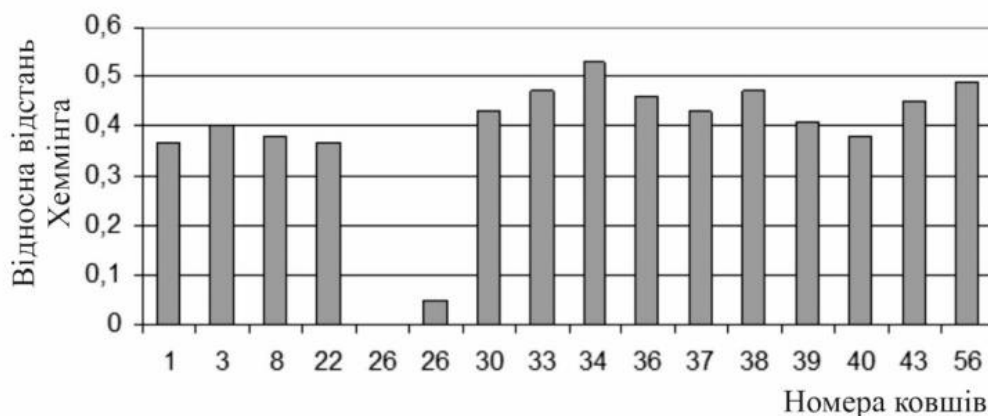


Рисунок 13 – Значень відносної відстані Хеммінга при порівнянні сегментів з еталоном

У додатках наведено список публікацій здобувача, а також акти впровадження результатів дослідження.

ВИСНОВКИ

1) Аналіз літературних джерел показав, що проблема ідентифікації номера чавуновізного ковша за його фотозображенням не може бути вирішеною за допомогою існуючих інформаційних технологій. Існуючі системи і програмні продукти мають такі недоліки: нестійкість до поганої якості умов освітлення; програми використовують прив'язку до шаблонів номерних знаків транспортних засобів конкретних країн, для яких вони розроблені; процес локалізації номерів на об'єктах можливий лише за умови нанесення чисел за допомогою трафаретів. Визначено, що обробка зображення, що досліджується у дисертації, повинна включати попередню обробку (фільтрацію, бінаризацію), локалізацію й ідентифікацію.

2) Запропоновано та обґрунтовано використання на першому етапі попередньої обробки для першого кроку (фільтрації), методу медіанної фільтрації, що оптимізований за швидкістю, оскільки при дослідженні він показав кількісне збільшення змістовності, та його використання призводить до

чіткого окреслювання області інтересу, зменшення кількості дрібного шуму і великих областей з високою яскравістю.

3) Метод неповної порогової глобальної бінаризації зображення доповнений автоматичним розрахунком порогового значення на основі низькорівневої характеристики зображення обґрунтовано використовувати для другого кроку першого етапу попередньої обробки (бінаризації). Значення яскравості бінаризованих зображень, що отримується обраним методом, дозволяє з достовірністю не менш ніж 96 % виконувати локалізацію області, де знаходяться цифри номера ковша для реальних зображень із різними завадами.

4) Для локалізації інформативної області – другого етапу обробки, запропоновано виконувати сегментацію на основі кластеризації зображення методом пошуку найближчого сусіда з модифікацією пошуку використанням ковзного вікна.

5) Модель й метод порівняння локалізованого зображення з еталонним на основі нечіткої характеристики зображення, на відміну від існуючих, враховує різний розмір нанесених на ківші номерів, різну освітленість вхідних фотозображень, нанесення номерів вручну без трафарету, наявність на номерах шуму у вигляді наліпок чавуну, патьоків вапна, великої кількості пилу тощо. Це дозволяє проводити третій етап, ідентифікацію, із рівнем достовірності 98 %.

6) Моделі та методи, що увійшли до інформаційної технології ідентифікації номера чавуновізного ковша за його зашумленим фотозображенням, були використані в розробці пакету прикладних програм. Поетапна обробка, що виконується за допомогою розробленого пакету, може використовуватися як для розв'язання окремих задач, так і в якості частини автоматизованої системи ідентифікації номера чавуновізного ківша в умовах виробництва. Комплексне тестування пакету та порівняння ідентифікації номера за допомогою розробленого пакету та існуючих у відкритому доступі засобів підтвердили працездатність технології, впровадження якої у виробництво дозволить підвищити достовірність обліку чавуну. Застосування пакету прикладних програм в умовах ПрАТ «ММК ім. Ілліча» дозволяє зробити висновок про доцільність використання запропонованої технології.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Праці, які відображають основні наукові результати дисертації

1. **Ефремова А. В.,** Каргин А. А., Пятикоп Е. Е. Исследовательская компьютерная система для проведения экспериментов по поиску неизвестного человека в базе // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля – Луганськ, ЛНПУ: – 2007. – №4 (110), Ч.2. – С. 78-86.

2. **Сергиенко А. В.,** Каргин А. А. Идентификация номера чугуновозного ковша по сегменту изображения сравнением его с эталонным сегментом // Проблеми інформаційних технологій. – 2010. – № 7. – С. 114–121.

3. **Сергиенко А. В.,** Каргин А. А., Пятикоп Е. Е., Плескачевская В. С. Метод локализации информативных областей на основе низкоуровневых характеристик изображения // Системи обробки інформації : зб. наукових праць

/ Харк. нац. ун-т Повітр. Сил ім. Івана Кожедуба. – Харків, 2013. – Вип. 1 (108). – С. 61–65.

4. **Сергиенко А. В.** Об использовании кластеризации методом ближайших соседей при локализации информативной области на зашумленном изображении // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2013. – N 4 (101). – С. 8–14.

5. **Сергиенко А. В.,** Каргин А. А. Информационная технология определения номера на чугуновозном ковше // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2013. – № 2. – С. 140–144.

6. **Anastasiia Serhiienko,** Chychkarov Yevhen, Iryna Syrmamiikh Information Technology of Hot-metal Ladle Car Handwritten Numbers Recognition from Photo Image [Electronic resource] // Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2020) : Proceedings of the Third International Workshop (Zaporizhzhia, April 27 – May 1, 2020 y.). – Zaporizhzhia, 2020. – Vol. I–2608. – P. 900–912. – ISSN: 1613-0073. – Mode of access: <http://ceur-ws.org/Vol-2608/paper67.pdf>

7. **Сергієнко А. В.,** Чичкарьов Є. А., Станішевський Л. М. Побудова та налаштування моделей глибокого навчання для розпізнавання рукописних і друкованих цифр на зображеннях чавуновізних ківшів [Електронний ресурс] // Наука та виробництво : міжвуз. те-мат. зб. наук. пр. / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь : ПДТУ, 2020. – Вип. 22. – С. 226–233. – Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/28135>.

Тези доповідей у збірниках праць конференцій

8. **Ефремова А. В.,** Каргин А. А. Е. Е. Пятикоп / Модификация метода нечеткого поиска фотопортрета в базе данных // Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій в науці, освіті та економіці : матеріали Всеукр. науково-практ. конф. (Луганськ, 11–13 грудня 2006 р.). – Луганськ, 2006. – С. 169–170.

9. **Ефремова А. В.** / Технологии автоматического выделения сцен из видеоряда для задачи видеонаблюдения // Университетская наука – 2008 : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. (Маріуполь, 2008 г.) / ГВУЗ «ПГТУ». – Маріуполь, 2008. – Т. 2. – С. 214.

10. **Сергієнко А. В.,** Каргин А. А. / Предварительная обработка изображений в задаче идентификации ковша чугуновоза // Университетская наука – 2009 : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. (Маріуполь, 19–21 мая 2009 г.) / ПГТУ. – Маріуполь, 2009. – Т. 2. – С. 262.

11. **Сергієнко А. В.,** Каргин А. А. / Идентификация номера чугуновозного ковша // Университетская наука – 2010 : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. (Маріуполь, 18–20 мая 2010 г.) / ПГТУ. – Маріуполь, 2010. – Т. 1. – С. 295–296.

12. **Сергієнко А. В.,** Каргин А. А. / Сегментация в задаче идентификации номера чугуновозного ковша по его фотоизображению // Университетская наука – 2011 : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. (Маріуполь, 17–19 мая 2011 г.) / ГВУЗ «ПГТУ». – Маріуполь, 2011. – Т. 3. – С. 11.

13. **Сергієнко А. В.**, Каргин А. А. / Сегментация в задаче идентификации номера чугуновозного ковша по его фотоизображению // Университетская наука – 2012 : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. (Мариуполь, 24–27 апреля 2012 г.) / ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь, 2012. – Т. 1. – С. 306–307.

14. **Сергиенко А. В.** Метод локализации информативных областей на изображении на основе пороговой обработки и кластеризации // Гиротехнологии, навигация, управление движением и конструирование авиационно-космической техники : сб. докл. IX Междунар. науч.-но-техн. конф. (Киев, 17–18 апреля 2013 г.) / НТУУ «КПИ». – К., 2013. – Т. 2. – Секция 3 : Информационные технологии. – С. 488–491.

15. **Сергієнко А. В.**, Каргин А. А. Сегментация в задаче идентификации номера чугуновозного ковша по его фотоизображению // Университетская наука – 2013 т. : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. (Мариуполь, 14–16 апреля 2013 г.) / ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь, 2013. – Т. 2. – С. 210–211.

16. **Сергиенко А. В.** Задачи локализации и идентификации при оптическом распознавании номера на чугуновозном ковше // Наукові дослідження молоді - інновації в науці та практиці : тез. докл. науково-практ. конф. молодих вчених і студентів (Мариуполь, 11–13 червня 2013 р.) / ДВНЗ «ПДТУ». – Мариуполь, 2013. – С. 149–151.

17. **Сергиенко А. В.** О решении задач локализации и идентификации при оптическом распознавании номера на чугуновозном ковше // Інформаційні технології та інформаційна безпека в науці техніці та навчанні «ІНФОТЕХ – 2013» : матеріали міжнар. науково-практ. конф. (Севастополь, 09–13 верес. 2013 р.) / Севастоп. нац. техн. ун-т. – Севастополь: СевНТУ, 2013. – С. 54–55.

18. **Сергиенко А. В.** Пакет прикладных программ как основа информационной технологии идентификации номера на чугуновозном ковше // Университетская наука – 2014 : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. (Мариуполь, 20–21 мая 2014 г.) / ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь, 2014. – Т. 2. – С. 137–138.

19. **Сергиенко А. В.** О решении задач локализации и идентификации при оптическом распознавании номера // Университетская наука – 2015 : тез. докл. Междунар. научно-техн. конф. (Мариуполь, 19–20 мая 2015 г.) / ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь, 2015. – Т. 2. – С. 216–218.

20. **Сергиенко А. В.** Анализ современных методов распознавания объектов на изображении // Университетская наука – 2016 : тез. докл. Междунар. научно-техн. конф. (Мариуполь, 19–20 мая 2016 г.) : в 4 т. / ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь, 2016. – Т. 2. – С. 150.

21. **Сергиенко А. В.** Исследование применимости различных методов идентификации объектов в задачах компьютерного зрения // Университетская наука – 2017: Международная научно-техн. конф., ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, 18-20 мая 2017 г. – Мариуполь: ГВУЗ «ПГТУ», 2017. – Т. II. – С. 178

22. **Сергиенко А. В.** Оценка качества алгоритма идентификации изображения // Университетская наука – 2018 : тез. докл. Междунар. научно-

техн. конф. (Маріуполь, 23–24 мая 2018 г.) : в 3 т. / ГВУЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2018. – Т. 2. – С. 168–169.

23. **Сергієнко А. В.**, Чичкарьов Є. А., Л. М. Станішевський Побудова та налаштування моделей глибокого навчання для розпізнавання рукописних і друкованих цифр на зображеннях [Електронний ресурс] // Актуальні питання розвитку інформаційних технологій : зб. тез Всеукр. конф. молодих учених (Маріуполь, 18 листопада 2019 р.) / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2019. – С. 65–67. – Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/25173>

24. **Сергієнко А. В.** Алгоритм виділення області інтересу на фотозображенні чавуновізного ковша за допомогою функцій бібліотеки OpenCV [Електронний ресурс] // Університетська наука - 2020 : тези доп. Міжнар. науково-техн. конф. (Маріуполь, 20–21 травня 2020 р.) : / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2020. – Т. 2. – С. 175–176. – Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/26628>

25. **Сергієнко А. В.**, Чичкарев Е. Идентификация номера чугуновозных ковшей по изображению с использованием нейронной сети глубокого обучения [Электронный ресурс] // Theoretical Foundations of Modern Science and Practice : Abstracts of XI International Scientific and Pract. Conf. (Melbourne, 06–07 April 2020 y.) / International Sciences Group. – Melbourne, 2020. – P. 487–490. – ISBN 978-1-64871-910-3. – Mode of access: <https://isg-konf.com/wp-content/uploads/2020/04/XI-Conference-06-07-Melbourne-Australia.pdf>

26. **Anastasiia Serhiiienko**, Chychkarov Yevhen, Iryna Syrmamiikh Construction and Adjustment of Deep-Learning or Fuzzy Logic Models for Recognition of Handwritten Numbers on Photographs [Electronic resource] // Visioner-2030 : наукове передбачення : зб. матеріалів Міжнар. міждисциплінарної науково-практ. конф. з нагоди Дня Науки (Київ, 29 травня 2020 р.). – Київ : Юдіна Л. І., 2020. – С. 20–30. – ISBN 978-617-7698-08-0. – Режим доступу: <http://futurollog.com.ua/publish/19/zbirnyk.pdf>

АНОТАЦІЯ

Сергієнко А.В. Моделі та метод інформаційної технології ідентифікації номера чавуновізного ковша за його зашумленим фотозображенням. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Северодонецьк, 2021.

Дисертацію присвячено вирішенню актуальної науково-практичної задачі розробки нової інформаційної технології ідентифікації номеру чавуновізного ковша за його зашумленим фотозображенням.

Запропоновано та обґрунтовано використання на першому етапі попередньої обробки для першого кроку (фільтрації), методу медіанної фільтрації, що оптимізований за швидкістю.

Удосконалено метод неповної порогової глобальної бінаризації зображення автоматичним розрахунком порогового значення на основі його

середньої яскравості, яку обґрунтовано використовувати для другого кроку першого етапу попередньої обробки (бінаризації).

Запропоновано для локалізації інформативної області – другого етапу обробки, виконувати сегментацію на основі кластеризації зображення методом пошуку найближчого сусіда з модифікацією пошуку використанням ковзного вікна.

Виконано розроблення моделі й методу порівняння локалізованого зображення з еталонним на основі нечіткої характеристики зображення, для проведення третього етапу обробки – ідентифікації, яка враховує різний розмір нанесених на ківші номерів, різну освітленість вхідних фотозображень, нанесення номерів вручну без трафарету, наявності на номерах шуму у вигляді наліпок чавуну, патьоків вапна, великої кількості пилу тощо. Наведено приклад використання запропонованої інформаційної технології в умовах виробництва. Досліджено, що використання методу порівняння локалізованого зображення з еталонним на основі нечіткої характеристики зображення дозволяє виконувати ідентифікацію із високим рівнем достовірності. Пропоновану інформаційну технологію впроваджено в системі моніторингу пересування чавуновізних ківшів та стану чавуну.

Ключові слова: інформаційна технологія, фільтрація, бінаризація, локалізація, область інтересу, кластеризація, ковзне вікно, ядро, блоки, нечітка характеристика, ідентифікація, пакет прикладних програм.

АННОТАЦИЯ

Сергиенко А. В. Модели и метод информационной технологии идентификации номера чавуновізного ковша по его зашумленному фотоизображению. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, Северодонецк, 2021.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-практической задачи разработки новой информационной технологии идентификации номера чугуновозного ковша по его зашумленному фотоизображению.

Предложено и обосновано использование на первом этапе предварительной обработки для первого шага (фильтрации), метода медианной фильтрации, который оптимизирован по скорости.

Усовершенствован метод неполной пороговой глобальной бинаризации изображения автоматическим расчетом порогового значения на основе его средней яркости. Её использование было обосновано для второго шага первого этапа предварительной обработки (бинаризации).

Предложено для локализации информативной области – второго этапа обработки, выполнять сегментацию на основе кластеризации изображения методом поиска ближайшего соседа с модификацией поиска использованием скользящего окна.

Выполнена разработка модели и метода сравнения локализованного изображения с эталонным на основе нечеткой характеристики, которые используются для проведения третьего этапа обработки – идентификации. Учитывается разный размер нанесенных на ковши номеров, разная освещенность входных фотоизображений, нанесения номеров вручную без трафарета, наличие на номерах шума в виде нашлапок чугуна, разводов извести, большого количества пыли и тому подобного. Приведен пример использования предложенной информационной технологии в условиях производства. Исследовано, что использование разработанных моделей и методов позволяет выполнять идентификацию с высоким уровнем достоверности. Предлагаемая информационная технология внедрена в системе мониторинга передвижения чугуновозных ковшей и состояния чугуна.

Ключевые слова: информационная технология, фильтрация, бинаризация, локализация, область интереса, кластеризация, скользящее окно, ядро, блоки, нечеткая характеристика, идентификация, пакет прикладных программ.

ABSTRACT

Serhiienko A.V. Models and method of information technology for identification of hot-metal transfer ladle number by its noisy photo image. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for a candidate degree of technical sciences in specialty 05.13.06 – information technologies. Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Sievierodonetsk, 2021.

The thesis is devoted to the solution of an urgent scientific and practical problem of developing new information technology to identify the number of a hot-metal transfer ladle by its noisy photo image.

It is proposed and substantiated to use the median filtration method, which is optimized to speed, at the first stage of the preliminary processing for the first phase (filtration).

The method of local threshold global binarization of the image by automatic calculation of the threshold value based on its average brightness, which is justified to use for the second phase of the first stage of the preliminary processing (binarization), has been improved.

For the localization of the information area (the second stage of processing), it is proposed to perform the segmentation based on image clustering by searching for the nearest neighbor with a modification of the search using a sliding window.

To carry out the third stage of processing, identification, the model and method of comparison of the localized image with the reference one based on the image indistinct characteristic have been developed. It considers the different size of numbers put on ladles, different illumination intensity of input photo images, numbers put manually without a stencil, numbers with noise in the form of pieces of cast iron, stains of lime, a large amount of dust, etc.

An example of using the proposed information technology in production conditions is given. It is researched that the use of the method of comparison of the localized image with the reference one based on the fuzzy image characteristic allows to perform the identification with high-level reliability. The proposed information technology is implemented in the system of monitoring the movement of hot-metal transfer ladles and the condition of cast iron.

Key words: information technology, filtering, binarization, localization, area of interest, clustering, sliding window, kernel, blocks, fuzzy characteristics, identification, application package.

Підписано до друку 15.03.2021 р. Формат 60*84 1/16. Цифровий друк.
Умов. друк. арк. 0.9. Обл.- вид. арк. 1.36.
Наклад 100 прим. Замовлення № 11

Надруковано в поліграфічному центрі
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет».
87555, м. Маріуполь, вул. Університетська, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 3729 від 15.03.2010 р.