

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗАГОРОДНЯ ДІАНА ІВАНІВНА



УДК 004.93

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ СТРУКТУРНО-СТАТИСТИЧНОЇ  
ІДЕНТИФІКАЦІЇ ІЄРАРХІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ХАРАКТЕРНИМИ ТОЧКАМИ ЇХ  
КОНТУРІВ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ ВІДЕОНАГЛЯДУ

05.13.06 – Інформаційні технології

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інформаційно-обчислювальних систем і управління Тернопільського національного економічного університету Міністерства освіти і науки України.

Наукові керівники      доктор технічних наук, професор  
**Крилов Віктор Миколайович**,  
Тернопільський національний економічний університет,  
професор кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління;

доктор, професор  
**Уве Гросман (Uwe Großmann)**,  
Університет прикладних наук і мистецтв, Дортмунд, Німеччина (Fachhochschule Dortmund (University of Applied Sciences and Arts), Dortmund, Germany)

Офіційні опоненти:      доктор технічних наук, професор  
**Пелешко Дмитро Дмитрович**,  
Приватний вищий навчальний заклад «Комп'ютерна Академія «ШАГ»», проректор з науково-педагогічної роботи;

доктор технічних наук, професор  
**Андрощук Олександр Степанович**,  
Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького,  
начальник докторантури - головний науковий співробітник

Захист відбудеться 7 грудня 2017 р. о 14<sup>00</sup> на засіданні спеціалізованої вченої ради К 58.082.02 Тернопільського національного економічного університету за адресою: 46009, м. Тернопіль, вул. Львівська, 11а (корпус 11, зал засідань).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Тернопільського національного економічного університету за адресою: 46009, м. Тернопіль, вул. Бережанська, 4.

Автореферат розіслано 7 листопада 2017 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
д.т.н., доцент



В.В. Яцків

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Стрімкий розвиток функціональних можливостей засобів обробки відеоінформації та відносно низька їх вартість привела до активного використання цифрових технологій у різних сферах людської діяльності. Зокрема, широкого розповсюдження набули системи комп'ютерного відеонагляду для спостереження в банках, офісах, аеропортах, супермаркетах, для пошуку суб'єктів в потоці людей за зовнішнім виглядом. В останні роки також спостерігається активне встановлення та використання відеокамер на зупинках громадського транспорту, в парках, скверах, площах, школах, прибудинковій території, тощо. Такі системи все частіше застосовують у криміналістиці, системах контролю доступу, охоронних системах.

В автоматизованих системах відеонагляду (АСВН) кількість камер постійно зростає і, відповідно збільшується ресурсоемність. Проте суттєвим обмеженням таких систем є потреба великої кількості операторів для їх обслуговування. Це зумовило перехід до інтелектуальних АСВН. Проте, такі системи знижують оперативність АСВН і потребують значних обчислювальних ресурсів.

У таких системах, за допомогою прикладних інтелектуальних інформаційних технологій (ІТ), виділяються певні проблемні об'єкти чи ситуації. Враховуючи специфіку таких систем, іноді інформації про проблемні ситуації не достатньо для вжиття заходів, тому необхідним є використання методів прийняття рішень за умов невизначеності, на які потрібно буде реагувати людині-оператору.

Для того, щоб підвищити оперативність АСВН, потрібно зменшувати обсяг даних, що обробляються. Ця актуальна задача вирішується автором за допомогою запропонованих методів та розробленої інформаційної технології на етапах сегментації та ідентифікації об'єктів розпізнавання.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Основний зміст дисертаційної роботи складають теоретичні та практичні результати досліджень, проведені автором на кафедрі інформаційно-обчислювальних систем і управління та у Науково-дослідному інституті інтелектуальних комп'ютерних систем Тернопільського національного економічного університету при виконанні: науково-дослідної роботи «Виділення контурів для структурно-статистичної ідентифікації об'єктів» (№ д/р 0112U008453, відповідальний виконавець, 2013-2017 рр.), спільного Українсько-Молдовського науково-дослідного проекту «Дистрибутивні сенсорні мережі з конфігурацією обчислювальних вузлів» (№ д/р 0115U004816), держбюджетного прикладного дослідження на тему «Методи захисту від комп'ютерних атак на основі нейронних мереж і штучних імунних систем» (№ д/р 0116U002499).

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційного дослідження є підвищення швидкодії методів та базових ІТ контурної сегментації і виділення характерних точок (ХТ) для ідентифікації облич в прикладних інтелектуальних ІТ комп'ютерного розпізнавання в умовах обмежених обчислювальних ресурсів.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні завдання:

– проаналізувати існуючі системи відеонагляду, методи виділення контурів, характерних точок та методів ідентифікації;

- розробити та експериментально дослідити метод та базову ІТ контурної сегментації;

- розробити та експериментально дослідити метод та базову ІТ виділення ХТ на основі властивостей вейвлет-аналізу з відповідним рівнем деталізації;

- розробити та експериментально дослідити метод та базову ІТ ідентифікації на основі ієрархічного принципу;

- розробити базові ІТ контурної сегментації, виділення ХТ та ідентифікації ієрархічних об'єктів, як складову прикладної ІТ для їх використання в АСВН, і провести аналіз їх достовірності та швидкодії.

**Об'єкт дослідження** – процес обробки візуальної інформації і прийняття рішень в умовах невизначеності у автоматизованих системах відеонагляду.

**Предмет дослідження** – методи та базові інформаційні технології виділення контурів, характерних точок контурів та ідентифікації ієрархічних об'єктів, зокрема облич людей отриманих з відеоінформації.

**Методи дослідження** – методи системного аналізу при розробленні узагальненої інформаційної моделі ідентифікації ієрархічних об'єктів; методи виділення контурів для підвищення достовірності і швидкодії процесу ідентифікації облич; вейвлет-аналіз, функціональний аналіз під час розробки методу виділення контурів та характерних точок контурів, методи математичної статистики при дослідженні достовірності запропонованих методів; методи моделювання та програмування при розробленні інформаційної технології ідентифікації облич.

**Наукова новизна отриманих результатів.** У ході виконання дисертаційного дослідження були отримані наступні основні результати:

- *вперше розроблено* метод та базову ІТ виділення ХТ контуру з регульованою деталізацією об'єктів, в основі яких лежить вейвлет-аналіз функції кривизни, що дозволило скоротити кількість точок контуру у відповідності з метою обробки;

- *отримав подальший розвиток* метод та базова ІТ контурної сегментації на базі методу Канні, відмінною особливістю яких є використання вейвлет-функцій для підкреслення перепадів інтенсивності зображення, що дозволило отримати послідовність контурних препаратів ієрархічного об'єкта з деталізацією, яка регулюється;

- *отримав подальший розвиток* метод та базова ІТ структурно-статистичної ідентифікації об'єктів на базі застосування ієрархічної послідовності ідентифікаційних векторів, розрахованих на основі характерних точок контуру об'єкта з регульованою деталізацією, що дозволило підвищити оперативність АСВН при високій достовірності;

- *отримала подальший розвиток* інформаційна технологія прийняття рішень про форму об'єктів ієрархічної структури на базі методів сегментації та ідентифікації з використанням вейвлет-аналізу, що дозволило підвищити оперативність АСВН.

**Практичне значення отриманих результатів.** Запропоновані у дисертаційній роботі методи реалізовано у прикладній ІТ. Вона дозволяє виявляти об'єкти у потоках відеоінформації з підвищеною оперативністю і достатньою точністю в умовах обмежених обчислювальних ресурсів. Ці результати досягнуто за рахунок використання методів та базових ІТ контурної сегментації, методів та базових ІТ виділення

ХТ, методів та базових ІТ ідентифікації облич в прикладних інтелектуальних ІТ комп'ютерного розпізнавання на основі обмеженого числа точок перегину контуру (ХТ) і переходу до ієрархічного принципу ідентифікації та класифікації об'єктів, що використовуються для розпізнавання об'єктів з різним рівнем деталізації для підвищення швидкодії в умовах обмежених обчислювальних ресурсів.

Теоретичні та практичні результати роботи використані:

- при розробці програмного модуля контурної сегментації для АСВН на базі методу Канні (акт впровадження ПП «ЕКОДЕРІ» від 25.11.2016 р.);

- в програмному модулі АСВН, що реалізує метод виділення характерних точок контуру (акт впровадження ТОВ “ВПІ комп'ютер” від 23.11.2016 р.);

- в системі відеонагляду, окремим програмним модулем структурно-статистичної ідентифікації об'єктів (акт впровадження ТзОВ завод «РЕМПОБУТТЕХНІКА», від 21.11.2016 р.);

- у науково-дослідній роботі на тему «Виділення контурів для структурно-статистичної ідентифікації об'єктів», державний реєстраційний № 0112U008453 (акт впровадження від 07.10.2016р.);

- у навчальному процесі при викладанні дисциплін “Комп'ютерна графіка”, “Теорія алгоритмів” та “Людино-комп'ютерна взаємодія” на кафедрі інформаційно-обчислювальних систем і управління, курсовому та дипломному проектуванні Тернопільського національного економічного університету (акт впровадження від 17.11.2016р.).

**Особистий внесок здобувача.** Усі основні результати, що виносяться на захист, отримані здобувачем особисто [2, 3, 4, 14, 16]. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать: [1] – реалізація диференціального методу виділення характерних точок контуру та проведення експериментальних досліджень його роботи; [5] – розробка методу контурної сегментації на основі методу Канні із застосуванням вейвлет-перетворення Хаара; [6] – проведення експериментальних досліджень методу виділення контурів зображень; [7] – проведення експериментальних досліджень для налаштування запропонованої платформи та комбінованого каскаду класифікаторів; [8] – реалізація структурно-статистичного методу ідентифікації облич для систем комп'ютерного розпізнавання; [9] – проведення огляду відомих рішень аналізу зображень облич; [10] – аналіз алгоритмів прослідковування контурів; [11] – проведення пошуку характерних точок контуру інтерполяційним методом; [12] – проведення аналізу процедури сегментації; [13] – проведення аналізу алгоритмів виділення та прослідковування контуру; [15] – розробка методу виділення характерних точок на основі вейвлет-аналізу функції кривизни; [17] – алгоритм структурно-ієрархічної контурної сегментації; [18] – узагальнена структура процесу розпізнавання облич.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи були висвітлені та обговорені на: шостому та восьмому міжнародних симпозиумах “Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications”, Прага, Чеська республіка, 2011 р. та Варшава, Республіка Польща, 2015 р.; 13, 14 та 16 міжнародних науково-практичних конференціях “Сучасні інформаційні та електронні тех-

нології», Одеса, Україна, 2012 р., 2013 р. та 2015 р.; третій та п'ятій Всеукраїнській школі-семінарі молодих вчених і студентів «Сучасні комп'ютерні інформаційні технології», Тернопіль, Україна, 2013 р. та 2015 р.; Всеукраїнській науковій Інтернет-конференції «Економічна кібернетика – інженерія економіки», Тернопіль, Україна, 2013 р.; 12 Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії», Львів-Славсько, Україна, 2014 р.; другій науково-технічній конференції студентів, магістрів та аспірантів «Інформатика, управління та штучний інтелект», Харків, Україна, 2015 р.; IV та V міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, Україна, 2015 р. та 2016 р.

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи знайшли повне відображення у 18 наукових роботах, які містять 5 статей у провідних фахових виданнях (з них 3 – у фахових виданнях зі списку спеціалізованих видань ВАК України, 1 стаття у закордонному фаховому виданні, 1 стаття у виданні, яке входить до міжнародної науко-метричної бази Scopus), 1 стаття у вітчизняному науковому журналі, 12 праць у збірниках міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій, в тому числі 1 праця індексована науко-метричною базою Web of Science.

**Структура дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, викладених на 116 сторінках основного машинописного тексту, списку використаних джерел (120 найменувань). Робота містить 36 рисунків, 8 таблиць та 8 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання дослідження, розкрито наукову і практичну цінність отриманих результатів, а також наведено відомості про особистий внесок здобувача, апробацію роботи і публікації.

У **першому розділі** проаналізовано ряд існуючих автоматизованих систем з підтримкою функції розпізнавання облич: (1) системи контролю доступу: виробник „TiSO Production” (Україна), FaceSentinel компанії Aurora (Великобританія); (2) набори засобів та бібліотек для розробки програм з підтримкою функцій розпізнавання облич: Mobile Vision API компанії «Google», FaceRTM API виробник «Animetrics», Verilook Surveillance SDK компанії «Neurotechnology», Acsys FRS SDK компанії «Acsys»; Face Recognition бібліотеки OpenCV, Computer Vision System Toolbox від MATLAB; (3) системи роботи із відеоінформацією: GooglePhotos виробник “Google” (США); системи роботи з відеопотоком FaceR виробник «Animetrics» (США), PelcoMATCHM Facial Recognition System (США), DX9000 PLUS/ (США), «Сова-відеопоток» (Російська Федерація), FaceVACS виробник «Cognitec Systems GmbH» (Німеччина). Проведений аналіз показав, що існує можливість підвищення їхньої швидкодії, що суттєво розширить область їхнього застосування.

На основі проведеного аналізу побудована узагальнена схема даних для ІТ відеонагляду (рис.1), а також проаналізовані методи обробки відеоінформації, методи виділення контурів, характерних точок контурів та методи ідентифікації об'єктів. Проведений аналіз показав, що для суттєвого підвищення оперативності розпізнавання об'єктів, які містять деталі та піддеталі, доцільно використовувати ієрархічний підхід, де послідовно виділяють об'єкти і підоб'єкти у відповідності з їх геометричними розмірами і просторовою локалізацією.

Для реалізації ієрархічних методів обробки відеоінформації були вибрані методи вейвлет-аналізу, результат яких залежить як від інтенсивності зображення об'єктів на відеоінформації, так і від їх геометричних розмірів.

На основі проведеного аналізу сформульовано мету й задачі досліджень.

У **другому розділі** отримав подальший розвиток метод виділення контурів Канні. Базовим методом обрано метод Канні, оскільки він відзначається високою завадостійкістю. Результатом його роботи є контур товщиною в 1 піксель. Проте, він не підходить для реалізації ієрархічного підходу, тому потрібна морфологічна обробка отриманого контурного препарату, але це суттєво знижує оперативність.

В даній роботі розроблений ієрархічний метод контурної сегментації (КС), який полягає в реалізації наступних кроків:

1) Згортка рядка зображення вейвлет-функцією. Для вейвлету розміром  $n$ , виконується лінійна комбінація зі значеннями інтенсивності пікселів зображення, що покриваються вейвлетом.

Для покращення збіжності вейвлет-перетворення доозначається крайній ряд пікселів, шляхом їхнього копіювання на довжину вейвлета:

$$z_{i,j} = \begin{cases} I_{i,1}, & \text{якщо } j < n, \\ I_{i,M}, & \text{якщо } j > M + n \\ I_{i,j-n+1}, & \text{в іншому випадку} \end{cases}, \quad (1)$$

де  $I_{i,j}$  – піксель оригінального зображення,  $i = 1, 2, \dots, N$ ,  $j = 1, 2, \dots, M$ ;  $z_{i,j}$  – піксель доозначеного зображення,  $i = 1, 2, \dots, N$ ,  $j = 1, 2, \dots, M + 2n$ ;  $n$  – довжина вейвлета.

Для кожної точки зображення обчислюємо:

$$WX_{i,j} = \sum_{k=i-n}^{i-1} w_k z_{k,j} + \sum_{k=i+1}^{i+n} w_k z_{k,j}, \quad (2)$$

де  $z_{k,j}$  – значення інтенсивності пікселя, що відповідає коефіцієнту  $w_k$  вейвлету. Результат вейвлет-перетворення записується в центральний елемент.

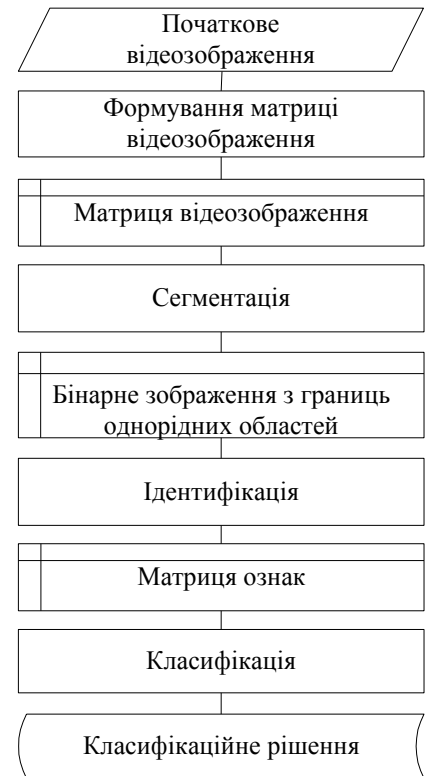


Рис.1. Схема даних для ІТ відеонагляду

Аналогічно доозначуємо зображення по осі  $OY$  та проводимо аналогічні обчислення по стовпцях. В результаті отримаємо дві матриці того ж розміру, що й вхідне зображення:  $WX_{i,j}$  та  $WY_{i,j}$ .

При згортці зображення вейвлет-функцією по осі  $OX$ , найбільші значення будуть на вертикальних лініях товщиною в 1 піксель. Причому, на областях зображення з постійною інтенсивністю значення буде дорівнювати 0, оскільки сума коефіцієнтів вейвлету дорівнює нулю. Аналогічно, при згортці стовпця зображення вейвлет-функцією по осі  $OY$  – найкраще будуть виділятися горизонтальні лінії.

2) Встановлення порогу (пороговий фільтр). Поріг встановлюється для значення інтенсивності пікселів: якщо значення інтенсивності менші за поріг, то заміняємо її на 0, ту ж, що вище порогу – залишаємо без змін.

В результаті знову отримаємо дві матриці того ж розміру, що й вхідне зображення  $WX'_{i,j}$  та  $WY'_{i,j}$ :

$$WX'_{i,j} = \begin{cases} WX_{i,j}, & \text{якщо } WX_{i,j} > P \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}, \quad WY'_{i,j} = \begin{cases} WY_{i,j}, & \text{якщо } WY_{i,j} > P \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}, \quad (3)$$

де  $P$  – значення порогу.

Після цього переходимо до пошуку перепадів інтенсивності.

3) Морфологічна обробка по градієнту. Обчислюємо величину градієнта для визначення величини стрибка інтенсивності та його напрям. До контуру відносимо пікселі, в яких досягається локальний максимум градієнта.

Величина градієнта характеризує швидкість зміни функції  $f$  в точці  $(x, y)$ :

$$[G_x, G_y]^T = \left[ \frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T. \quad (4)$$

Напрямок вектора градієнта співпадає з напрямом максимальної швидкості зміни функції в точці:

$$\nabla f = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}. \quad (5)$$

Позначимо  $\alpha(x, y)$  – кут між напрямком вектора  $\nabla f$  в точці  $(x, y)$  і віссю  $OX$ , отже:

$$\alpha(x, y) = \arctg(G_y / G_x). \quad (6)$$

Звідси можна знайти напрям контуру в точці  $(x, y)$ , що перпендикулярний до напрямку вектора градієнта в цій точці.

Дані кроки проводимо окремо для двох матриць  $WX'_{i,j}$  та  $WY'_{i,j}$ , а отриманий контурний препарат складаємо за схемою логічного «або» (рис. 2).

Після того, як отримали перший контур (найвищого рівня ієрархії), отримання контуру наступного рівня ієрархії виконується переходом на крок 1 із застосуванням вейвлету меншої довжини. При цьому обробляємо не всю відеоінформацію, а її частину, що всередині контуру попереднього рівня ієрархії.

У виборі довжини вейвлету доцільно керуватись геометричними розмірами об'єктів як складових частин відеоінформації. На першому етапі довжина вейвлету повинна відповідати геометричним розмірам «найбільшого об'єкта» і з переходом на наступні рівні повинна зменшуватись відповідно до розмірів об'єкта. Критерієм при-



пинення деталізації буде досягнення такого рівня деталізації, що об'єкти які цікавлять, будуть виділеними.

Перевагою розробленого методу є замкнутість контурів, а також можливість ігнорування надлишковою відеоінформацією за допомогою згортки відеоінформації вейвлет-функцією. Це дозволяє розбити відеоінформацію на сукупність ієрархічних контурів деталізації («контур – підконтур»).

Зразок тестової відеоінформації, що підготовлений з врахуванням особливостей

предметної області подано на рис. 3. Він відтворює набір характерних ознак реальних об'єктів в областях чорного, білого та сірого кольору. Це зображення є репрезентативним, тобто за показниками продуктивності і точності його обробки можна робити висновок про середню якість опрацювання реальних об'єктів. У якості остаточного результату на першому рівні ієрархії отримаємо зображення, яке представлено на рис. 4.

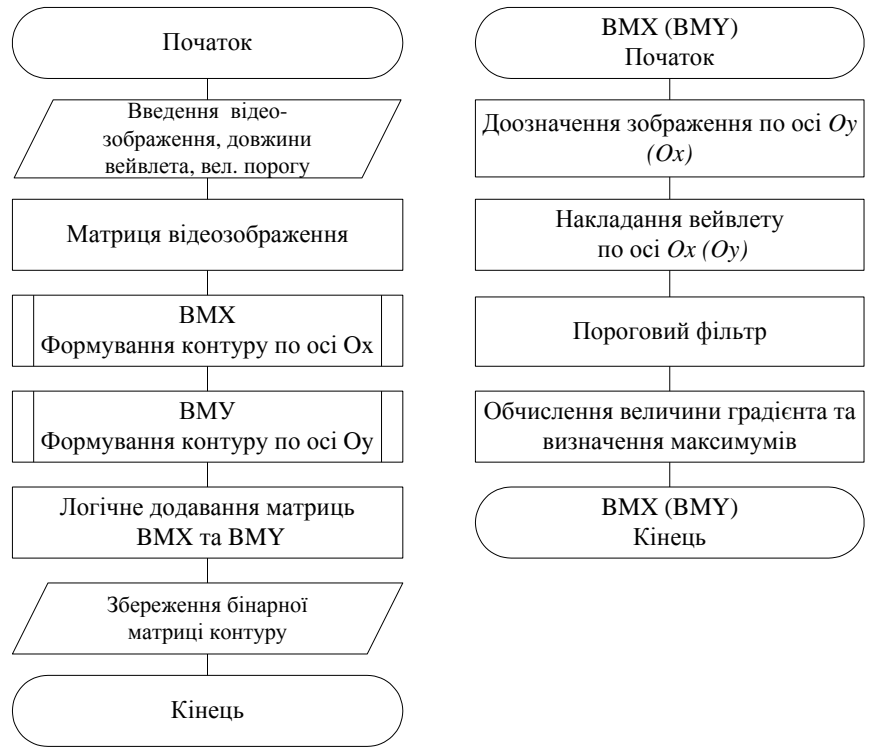


Рис.2. Схема методу виділення контурів

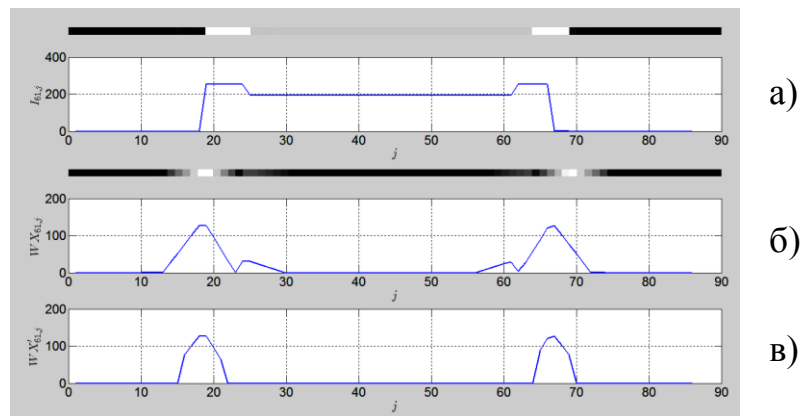
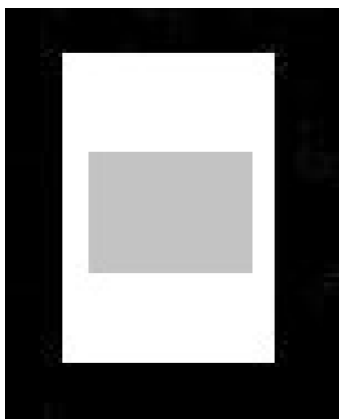


Рис. 3. Тестова відеоінформація, стрічка зображення та графіки інтенсивності

Метод досліджувався за критерієм Прета на тестовій відеоінформації розміром 92x76 пікселів, в центрі якої знаходиться вертикально орієнтований чорно-білий перепад яскравості. Критерій Прета обчислюється як штрафна функція трьох видів помилок на контурі: розриви, локальні зміщення та розмиття:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{I_A} \frac{1}{1 + \alpha d_i^2}}{\max(I_i, I_A)}, \quad (7)$$

де  $I_i$  – кількість елементів в ідеальному контурі,  $I_A$  – кількість елементів у реальному контурі,  $d_i$  – величина зміщення  $i$ -того елемента виділеного контуру по нормалі до лінії ідеального контуру,  $\alpha$  – масштабний множник, що забезпечує відношення між «штрафами» за зміщений і розмитий контури ( $\alpha = 1/9$ ). Значення критерію нормалізоване так, що  $R = 1$  буде тільки для точно виділеного контуру.

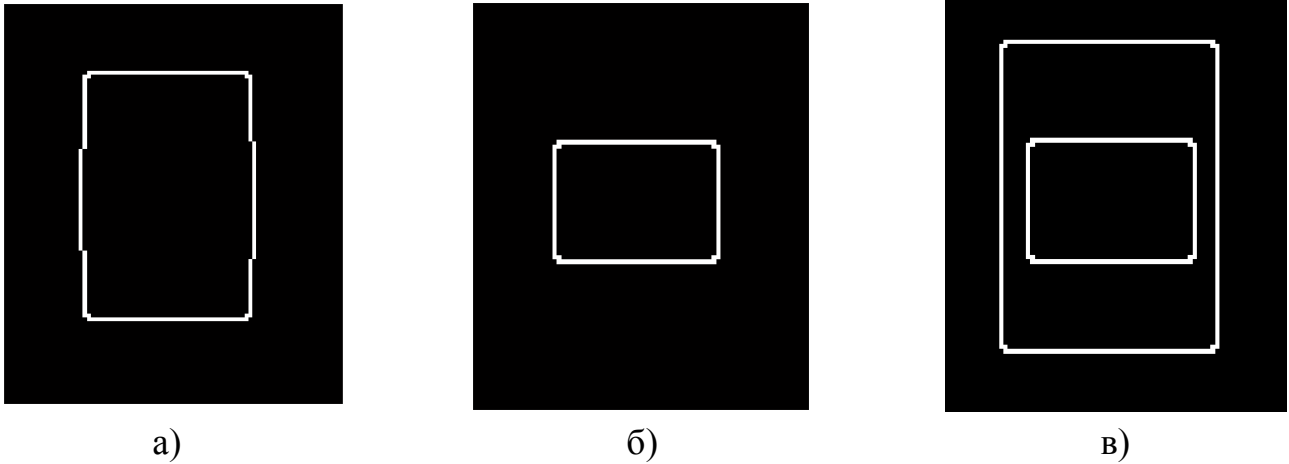


Рис. 4. Результати виділення контурів запропонованим методом на першому рівні ієрархії (а) та на другому рівні ієрархії (б); методом Канні (в)

На рис. 5 зображено початкову тестову відеоінформацію, її модифікації із накладеним Гаусівським шумом різної інтенсивності та результати обробки запропонованим методом.

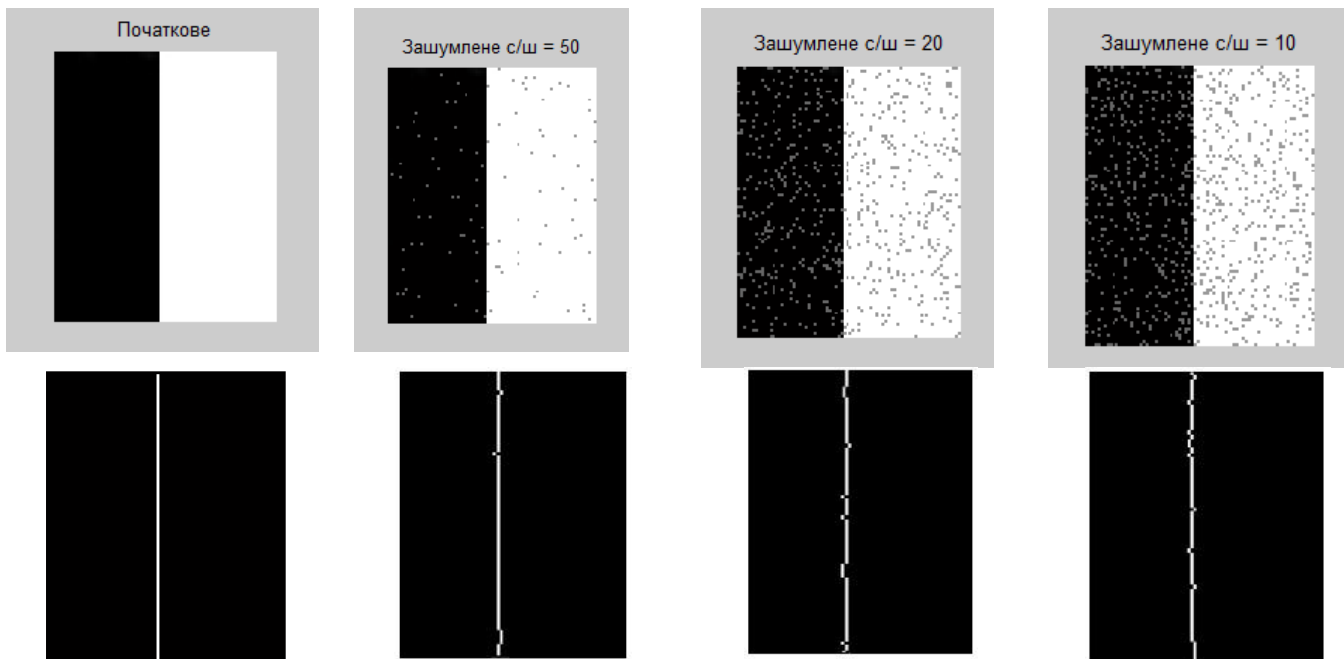


Рис. 5. Результати обробки чорно-білого перепаду оператором виділення контурів

На рис. 6 представлені графіки залежності критерія Прета від співвідношення сигнал/шум для запропонованого методу з різною довжиною вейвлету та для методу Канні. Як видно, запропонований метод дає кращі результати у порівнянні з методом Канні на зашумлених зображеннях, а при малих значеннях вейвлету результати подібні.

Метод був апробований на відеоінформації, отриманій з комп'ютерних систем відеонагляду. У відповідність обличчю людини ставилась послідовність контурів (рис. 7).

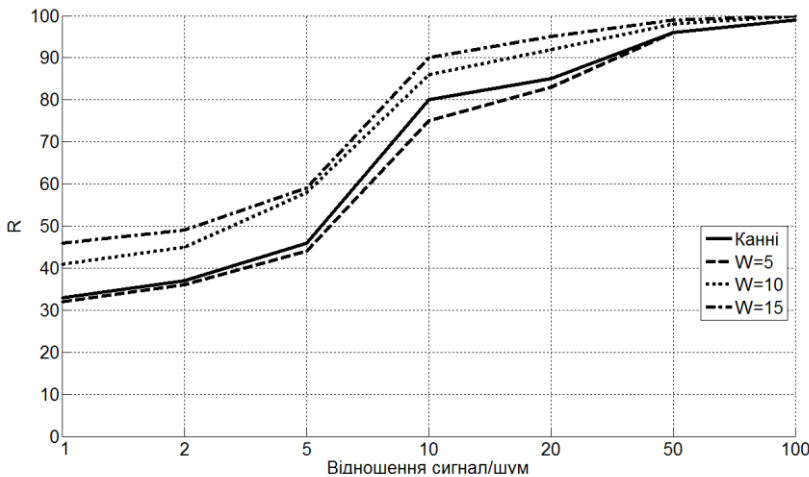


Рис. 6. Графік залежності величини критерія Прета від відношення сигнал/шум чорно-білого перепадку операторами виділення контурів

Для того, щоб зменшити об'єм інформації, що обробляється при розпізнаванні, і, відповідно, підвищити оперативність обробки, доцільно перейти до розпізнавання за координатами ХТ контуру (точки найбільшої кривизни). Фундаментальна теорема Аттніва стверджує: якщо з'єднати ці точки відрізками прямої, то загальна суть геометричного об'єкта зберігається.

В даний час для виділення ХТ застосовуються диференціальні та інтерполяційні методи. Проведений аналіз показав, що диференціальні методи не мають достатньої для даної прикладної області завадостійкості, а інтерполяційні методи – точності у визначенні координат ХТ. Крім того, жодна з цих груп методів не дозволяє регулювати рівень деталізації об'єкта. В даній роботі був розроблений метод виділення ХТ контуру на базі вейвлет-аналізу функції кривизни. Цей метод полягає в наступному:

1) Формується функція кривизни, як диференціальна функція координат контуру. Для полярної системи координат кривизна визначається наступним чином:

$$\rho_i = \sqrt{\frac{-2}{x_i} + \frac{-2}{y_i}}, \quad \theta_i = \arctg\left(\frac{\bar{y}_i}{\bar{x}_i}\right), \quad \bar{x}_i = x_i - \bar{x}, \quad \bar{y}_i = y_i - \bar{y}, \quad (8)$$

де  $(x_i, y_i) \in X$  – впорядкована множина точок контуру зображення в декартовій системі координат,  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  – середня точка зображення контуру,  $\rho_i$  – величина кривизни, що відповідає куту  $\theta_i$ .

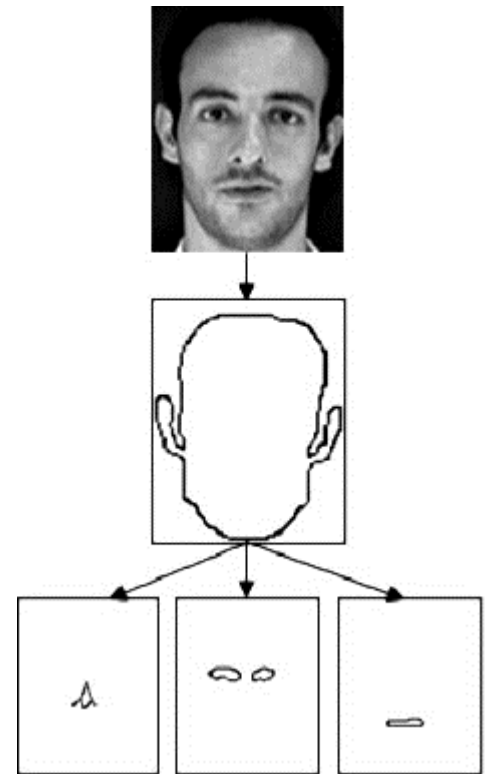


Рис. 7. Ієрархічне представлення контурів обличчя

Приклад зображення та графік функції кривизни контуру представлені на рис. 8. На графіку по осі абсцис встановлено значення кута, який знаходиться в діапазоні  $(-\pi; \pi)$ , а по осі ординат – значення функції кривизни  $\rho_i$ .

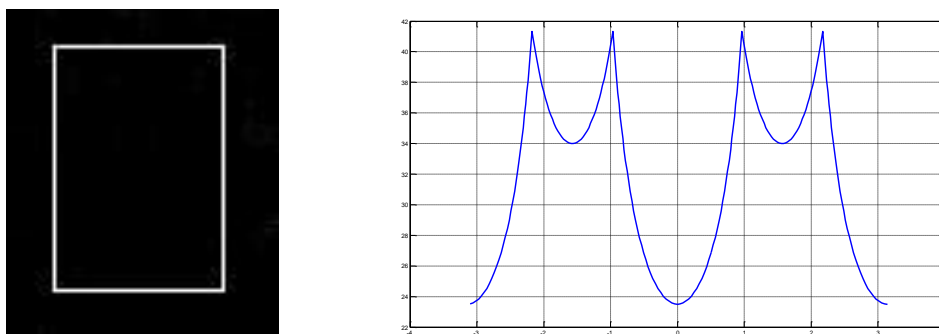


Рис. 8. Зображення та функція кривизни його контуру

Проте, через диференціальну природу, функція кривизни має низьку завадостійкість: будь-які максимуми і мінімуми відзначаються як ХТ, за рахунок чого виділяється значна їх кількість. Для усунення цього недоліку використано вейвлети Хаара, що забезпечують вищу швидкодію та добре зарекомендували себе в практичних задачах обробки дискретних сигналів.

2) Вейвлет-перетворення функції кривизни в базисі Хаара полягає в лінійному перетворенні функції вектора  $\rho$  парної розмірності  $2\pi$  в інший вектор  $H$  наступними співвідношеннями:

$$H_j = \sum_{i=j-a}^{j-1} \rho_i \cdot 1 + \sum_{i=j+1}^{j+a} \rho_i \cdot (-1), \quad (9)$$

де  $j \in [-\pi + a; \pi - a)$ ,  $2a$  – довжина вейвлету Хаара.

До ХТ належать ті точки, які знаходяться на перетині функції  $H(\rho)$  з віссю  $ox$ .

3) Якщо рівень деталізації не задовільняє, то зменшуємо довжину вейвлету та повторюємо описану вище процедуру.

Значення параметра  $a$  впливає на кількість виділених ХТ: чим менше значення параметра  $a$ , тим більше буде ХТ.

На рис. 9 представлена узагальнена схема методу виділення ХТ, а на рис. 10 графічно представлено результати функціонування реалізованих методів: інтерполяційного, диференціального та запропонованого на основі вейвлет-аналізу функції кривизни (з довжиною вейвлету  $a=10$ ). На рисунках кружечками позначено ХТ контуру, виділені відповідним методом. Такі точки послідовно з'єднані для наочної оцінки контуру фігури, що утворюється.

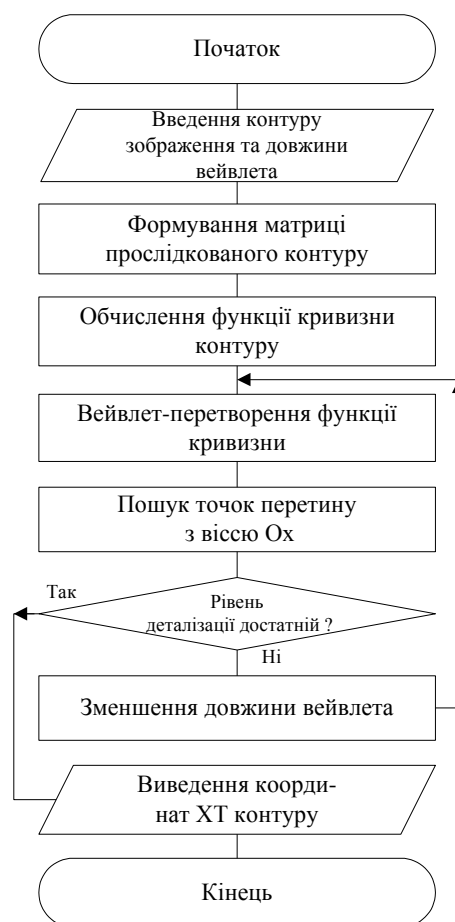


Рис.9. Схема методу виділення ХТ

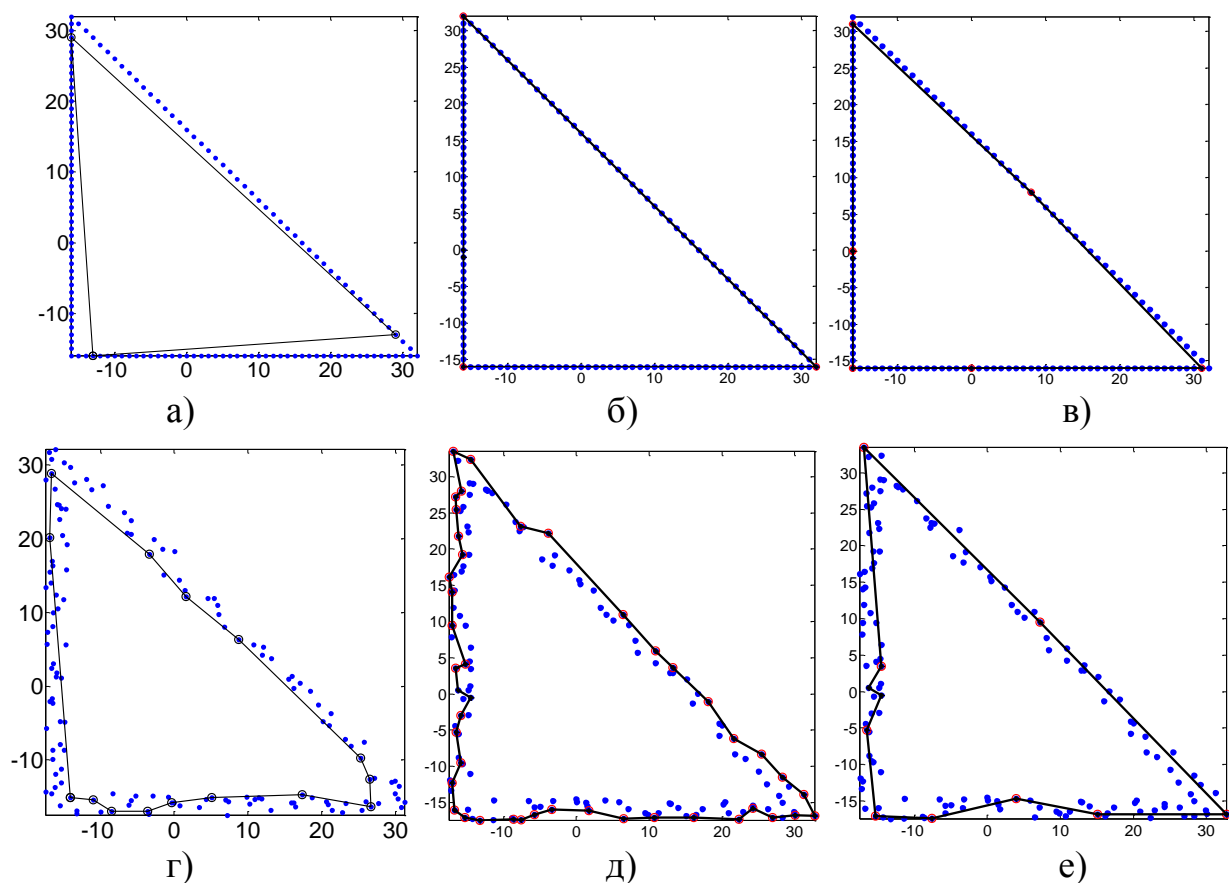


Рис. 10. Графічне представлення результатів роботи методів виділення характерних точок контуру на незашумлених зображеннях (а, б, в) та в умовах впливу рівномірно розподіленого адитивного гаусівського шуму (г, д, е) інтерполяційним, диференціальним та методом на основі вейвлет-аналізу функції кривизни відповідно

На рис. 11 наведено результати порівняння методів виділення ХТ з оригінальної відеоінформації та в умовах впливу рівномірно розподіленого адитивного гаусівського шуму з амплітудою від 0 до 1 з кроком 0,1 за критеріями: ймовірності правильного виявлення ( $P$ ), ймовірності хибного виявлення ( $Q$ ) та похибки в оцінці координат ( $E$ ).

Як видно із представлених графіків, диференціальний метод на зображенні без шуму показує найкращі результати за всіма критеріями, а інтерполяційний – найгірші, оскільки відбувається незначний зсув виявлених алгоритмом ХТ від вершин багатокутника (модельних ХТ).

На тому ж зображенні, що було додатково спотворено шумами, диференціальний метод та метод на основі вейвлет-аналізу функції кривизни показують однакові результати за критеріями ймовірності правильного виявлення та похибки в оцінці координат. За критерієм ймовірності хибного виявлення кращий результат показує метод на основі вейвлет-аналізу функції кривизни.

Дослідження показали, що інтерполяційний метод має низьку точність, бо характерні точки, виділені ним, зсунуто відносно модельних характерних точок приблизно на довжину інтерполяційного відрізка. Диференціальний метод має низьку завадостійкість, оскільки після зашумлення зображення трактує надто велику кількість

точок характерними. Метод на основі вейвлет-аналізу функції кривизни показує найкращі результати в умовах зашумлення.

У третьому розділі одержав подальший розвиток метод структурно-статистичної ідентифікації об'єктів, який забезпечує інваріантність до геометричних перетворень, високу завадостійкість і не потребує значних обчислювальних затрат.

Базовим методом ідентифікації геометричних об'єктів за їх ХТ був вибраний структурно-статистичний метод, оскільки він забезпечує як високу достовірність розпізнавання, так і швидкість. Вираз для обчислення ідентифікаційного вектора має вигляд:

$$\mu_p = \iint_A \rho^p Q(\rho, \varphi) \psi(x \cap A), \quad (10)$$

де  $A$  – множина дійсних чисел;  $x$  – підмножина дійсних чисел  $x(\rho, \varphi)$  координат ХТ контуру фігури в полярній системі координат;  $\psi$  – міра на множині дійсних чисел;  $p$  – порядок момента;  $Q$  – множина ХТ контуру:

$$Q(\rho, \varphi) = \begin{cases} 1, \rho = \rho_i, \varphi = \varphi_i; i = 1, \dots, J, \\ 0, \rho \neq \rho_i \end{cases}, \quad (11)$$

де  $J$  – кількість характерних точок контуру об'єкта.

Врахувавши, що міра Лебега в полярній системі координат є площею трикутника, можна записати формулу (10) в дискретному вигляді:

$$\mu_p = \left| \sum_{i=0}^J \rho_i^{*(p+2)} \sin(\Delta\varphi_i) \right|, \quad (12)$$

де  $\rho_i^* = \sqrt{\rho_i \rho_{i+1}}$  – середнє геометричне радіус-векторів,

$\Delta\varphi_i = \varphi_{i+1} - \varphi_i$  – різниця фаз між  $i$ -тою та  $(i+1)$ -шою характерними точками.

Цей вираз береться по модулю, оскільки знак виразу залежить від напрямку обходу характерних точок, а нас цікавить тільки абсолютне значення. Для забезпечення інваріантності до масштабу проведено нормування радіус-векторів за допомогою

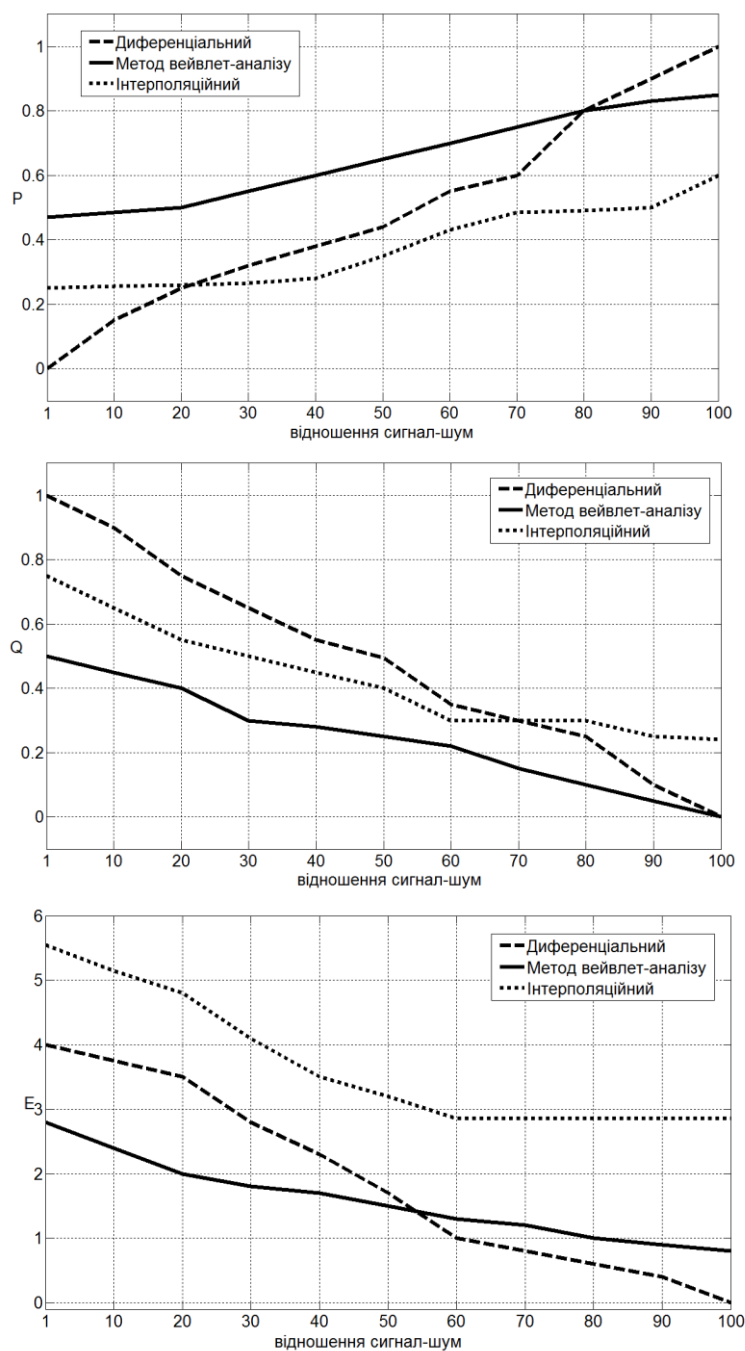


Рис. 11. Графіки залежності величини критеріїв від амплітуди шуму

коефіцієнта  $\rho = \sqrt{\frac{S}{2\pi}}$ , де  $S$  – площа фігури. Тоді вираз (12) буде мати вигляд:

$$C_p = \left| \sum_{i=0}^J \rho_{i0}^{*(p+2)} \sin(\Delta\varphi_i) \right|, \quad (13)$$

де  $\rho_{i0}^* = \rho_i^* / \rho$ .

Значення  $C_p$  використовується як вектор ознак.

Проте цей метод не дозволяє реалізувати ієрархічний підхід (розпізнавання об'єктів з регульованою деталізацією), що суттєво знижує його оперативність. Тому автором в дисертації розроблено метод структурно-статистичної ідентифікації із застосуванням ієрархічної послідовності ідентифікаційних векторів, розрахованих на основі характерних точок контуру об'єкта з регульованою деталізацією.

Суть методу полягає в застосуванні ієрархічної послідовності ідентифікаційних векторів, розрахованих на основі інформації про ХТ контуру об'єкта з регульованою деталізацією (рис. 12).

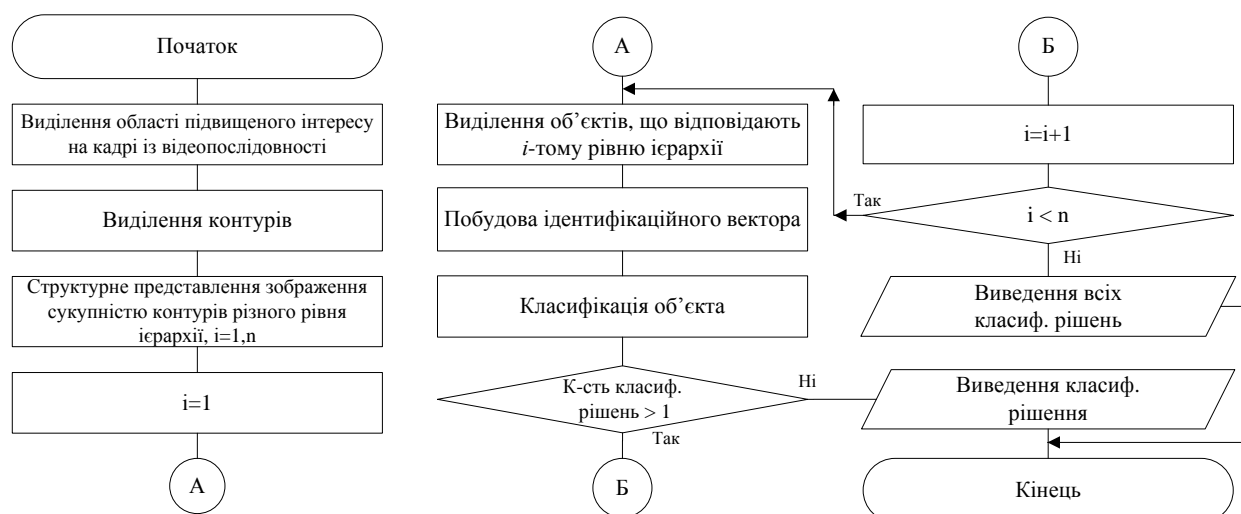


Рис. 12. Схема методу ієрархічної структурно-статистичної ідентифікації

В результаті контурного аналізу відеоінформації на базі запропонованого підходу отримано пірамідальне представлення геометричних форм об'єкта і його деталей: набір контурних препаратів. Таке представлення використовується для обчислення геометричних ідентифікаційних ознак об'єкта. Даний підхід структурно-ієрархічної контурної сегментації дозволяє підвищити швидкість роботи системи відеоспостереження за рахунок зменшення об'єму інформації, необхідної для обробки.

Структурне представлення зображення у вигляді сукупності примітивних геометричних елементів (в нашому випадку сукупності контурів) і їх відношення між собою, побудоване на базі геометричного підходу, включаючи в опис форми взаємне розташування і відношення окремих елементів. Тобто, зображення можна представити у вигляді сукупності контурів різного рівня ієрархії.



Після того, як зображення представлено у вигляді сукупності контурів та їх відношень між собою з різним рівнем ієрархії  $F(x, y) = \sum_{j=1}^n I_j(x, y)$ , (де  $n$  – число рівнів

ієрархії,  $I_j(x, y)$  – контур  $j$ -го рівня ієрархії), відбувається виділення ХТ контуру (спочатку на контурі найвищого рівня ієрархії), побудова ідентифікаційного вектора на основі інформації про ХТ контуру, проведення класифікації на відповідному рівні та віднесення об'єкта до відповідного класу. Після цього відбувається перехід на нижчий рівень ієрархії та проводиться розпізнавання всередині класу, в який потрапив об'єкт. Ця процедура триває доти, поки не прийнято остаточного класифікаційного рішення.

У четвертому розділі на базі створених методів та базових ІТ контурної сегментації, виділення ХТ контуру з регульованою деталізацією та структурно-статистичної ідентифікації розроблено прикладні ІТ для системи підтримки прийняття рішень про форму об'єктів ієрархічної структури в АСВН (рис. 13), що дозволило підвищити їх оперативність.

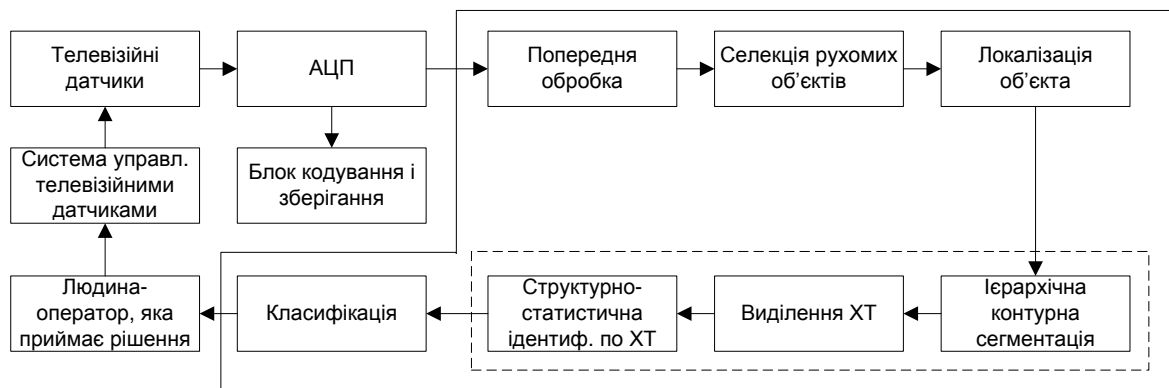


Рис. 13. Структура АСВН із пропонованими підсистемами

Запропоновані методи було реалізовано та досліджено в середовищі Matlab з використанням бібліотек Image Processing Toolbox та Curve Fitting Toolbox, зокрема методи виділення ХТ контуру (рис. 14), контурної сегментації на базі методу Канні та структурно-статистичної ієрархічної ідентифікації.

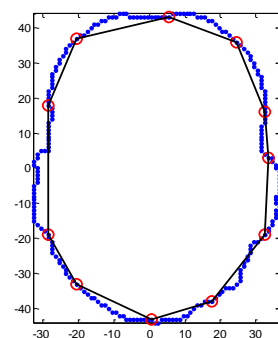
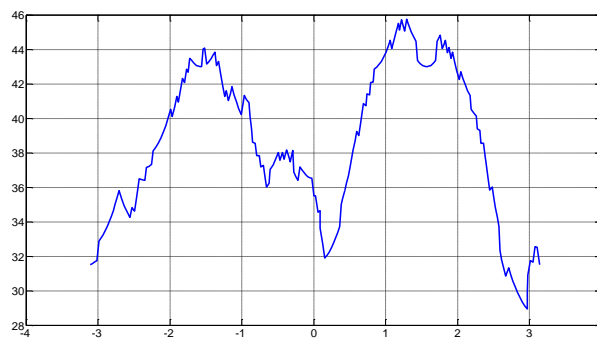


Рис. 14. Результати роботи методу виділення ХТ



В рамках проекту № 0112U008453 було розроблено ІТ АСВН ідентифікації об'єктів, яку програмно реалізовано в середовищі Visual Studio 2015 на мові програмування С# з використанням бібліотек OpenCV (рис. 15).

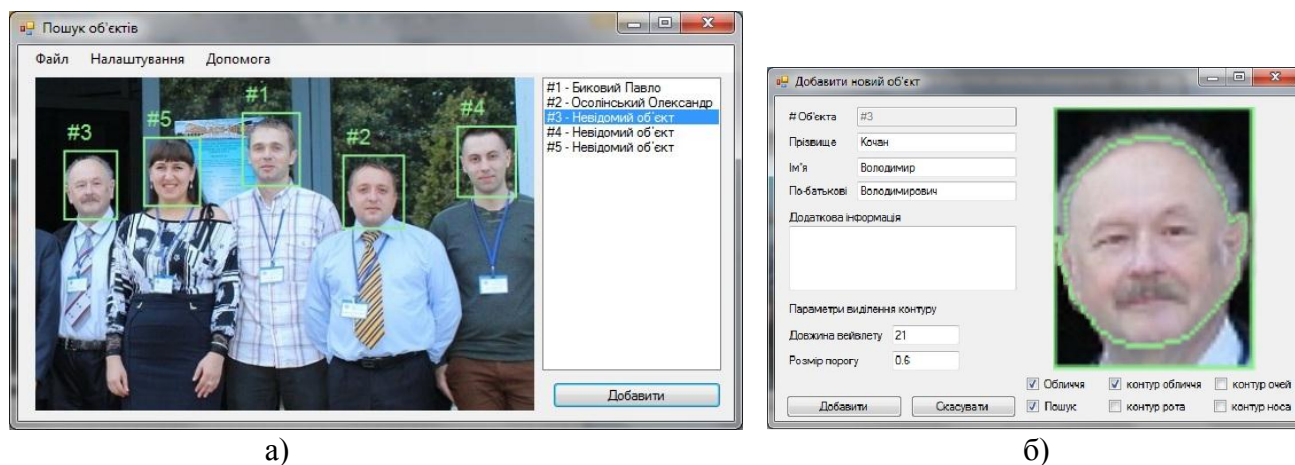


Рис. 15. ДIALOGОВЕ ВІКНО АСВН

а) вікно ідентифікації об'єктів; б) вікно вводу нового об'єкта

Основні модулі підсистеми дозволяють завантажувати та здійснити аналіз відеозображень, виділяють контур обличчя та ХТ контуру, будувати ідентифікаційні вектори, на основі яких здійснюється класифікація об'єктів. Результат роботи модулів виводиться на екран (рис. 15 а). Ідентифікація об'єктів за обличчями проводиться на декількох рівнях: на першому рівні об'єкт відноситься до певного класу за формою голови. Якщо даної інформації не достатньо, то переходимо на наступний рівень ієрархії об'єкту (ідентифікаційні вектори контурів носа, очей та рота). Можливість додавати нові об'єкти для пошуку підсистемою представлено на рис. 15 б.

Проведені дослідження по достовірності розпізнавання за помилками I і II роду на вибірці 100 людей, з яких 10 вважали підозрілими. В результаті погіршилась достовірність по помилках II роду (звичайних людей віднесено до підозрілих). Якщо збільшувати кількість людей в кадрі у 8-10 разів, то запропонована АСВН швидко приймає рішення, проте вони не завжди достовірні, в такому випадку оператор наводить телевізійний датчик ще раз та приймає остаточне рішення.

У додатках наведено тексти основних програмних модулів, акти впровадження результатів дисертаційного дослідження та інші матеріали.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну задачу підвищення швидкодії автоматизованих систем відеонагляду в умовах обмежених обчислювальних ресурсів. Для вирішення цієї задачі розроблено методи та базові інформаційні технології контурної сегментації, виділення характерних точок контуру та структурно-статистичної ідентифікації для ієрархічної ідентифікації та класифікації об'єктів. Це дало можливість скоротити час роботи автоматизованих систем відеонагляду, і як наслідок, підвищити оперативність таких систем.

1. Проаналізовано існуючі системи відеонагляду та встановлено, що швидкість їхньої роботи можна підвищити. Проаналізовано методи виділення контурів та встановлено, що існуючі методи не дозволяють отримати послідовність контурних препаратів ієрархічного об'єкта з деталізацією, яка регулюється. Проаналізовано методи та базові інформаційні технології виділення характерних точок контуру та встановлено, що в існуючих методах не регулюється кількість виділення характерних точок у відповідності з метою обробки.

2. Для підвищення оперативності автоматизованих систем відеонагляду запропоновано використати ієрархічний підхід до процедур сегментації та ідентифікації геометричних об'єктів. Для реалізації ієрархічного підходу були вибрані методи вейвлет-аналізу.

3. Розроблено метод та базову інформаційну технологію контурної сегментації на базі методу Канні. Експериментальні дослідження показали його високу завадостійкість за критерієм Прета (у 1,2 – 1,5 рази вище у порівнянні з методом Канні). Розроблений метод та базова ІТ дозволяє представити контурний препарат ієрархічного об'єкта послідовністю контурних препаратів у вигляді об'єкт-підоб'єкт.

4. Розроблено і досліджено метод та базову інформаційну технологію виділення характерних точок контуру з регульованою деталізацією. Експериментальні дослідження показали, що розроблений метод та базова інформаційна технологія суттєво перевершує диференціальний метод по завадостійкості у 1,2 – 2 рази, а інтерполяційний метод по точності у 1,5 – 3 разів.

5. Розроблено та досліджено метод та базову інформаційну технологію структурно-статистичної ідентифікації об'єктів на базі застосування ієрархічної послідовності ідентифікаційних векторів. Даний метод забезпечує інваріантність до геометричних перетворень об'єктів (зсуву в полі зору, повороту об'єкта та масштабування), володіє високою завадостійкістю, а також високою обчислювальною ефективністю в умовах обмежених обчислювальних ресурсів.

6. Розроблено інформаційну технологію структурно-статистичної ідентифікації ієрархічних об'єктів за характерними точками контурів. Розроблена інформаційна технологія використовується в комп'ютерній системі відеонагляду. Дослідження показали, що застосування цих процедур в інформаційній технології відеонагляду дозволило зменшити час обробки кадру у 8-15 разів (в залежності від вмісту кадру та кількості об'єктів на ньому) при невеликому зниженні достовірності (5-10%).

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

*Статті в наукових фахових виданнях та закордонних журналах*

1. Загородня Д.І. Дослідження диференціального методу виділення характерних точок контуру облич / Д.І. Загородня, В.І. Дорош, Н.С. Добровольська, О.Л. Римар // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – Хмельницький, 2014. – №4 (49). – С. 162-166.

2. Загородня Д.И. Метод идентификации лиц по характерным точкам контура / Д.И. Загородня // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия физика, математика, информатика. – 2015. – №5. – С. 30-33.

3. Загородня Д.І. Аналіз інтерполяційного методу виділення характерних точок контуру / Д.І. Загородня // Науковий вісник Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти. –2015. – Том 6, Випуск 2. – С. 88-92.

4. Загородня Д.І. Порівняння методів виділення характерних точок контуру / Д.І. Загородня // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. Харків «ХАІ». – 2016. – № 3 (77). – С. 56-61.

5. Zahorodnia D.I. Canny-based Method of Image Contour Segmentation / Diana Zahorodnia, Yuriy Pigovsky, Pavlo Bykovyy // International Journal of Computing. Ternopil: TNEU. – 2016. – Vol. 15. – Issue 3. – P. 200-205 (*включено до науко-метричної бази Scopus*).

6. Загородня Д.І. Метод виділення контурів зображень з використанням вейвлет-перетворень / Д.І. Загородня, У. Гросман У., В.М. Крилов, В.І. Дорош // Науковий вісник Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти. –2016. – Том 7, Випуск 2. – С. 136-141.

#### *Опубліковані праці апробаційного характеру*

7. Paliy Ihor. Fast and Robust Face Detection and Tracking Framework / Ihor Paliy, Volodymyr Dovgan, Ognian Boumbarov, Stanislav Panev, Anatoly Sachenko, Yuriy Kurylyak, Diana Zagorodnya // Proceedings of the IEEE 6th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2011). – Prague (Czech Republic), September 15-17, 2011. – Vol.1. – P. 430-433 (*включено до науко-метричної бази Scopus*).

8. Zahorodnia Diana. Structural Statistic Method Identifying Facial Images by Countour Characteristic Points / Diana Zahorodnia, Yuriy Pigovsky, Pavlo Bykovyy, Viktor Krylov, Ihor Paliy, Igor Dobrotvor // Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2015). – Warsaw (Poland), September 24-26, 2015. – P. 293-297. (*включено до науко-метричних баз Scopus та Web of Science*)

9. Базелюк Д.В. Підхід до розпізнавання емоцій на основі зображення обличчя. / Д.В. Базелюк, Д.І. Загородня, І.О. Палій // Труды XIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та електронні технології» («СІЕТ-2012»). – Одеса, 4-8 червня 2012. – С. 118.

10. Загородня Д.І. Алгоритми прослідковування контурів та виділення характерних точок в процедурі сегментації системи комп'ютерного розпізнавання / Д.І. Загородня, І.О. Палій, В.М. Крилов // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали III Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів (АСІТ'2013). – Тернопіль: ТНЕУ, 17-18 травня 2013. – С.129-130.

11. Загородня Д.І. Метод розпізнавання облич за характерними точками контуру в комп'ютерних системах відеоспостереження. / Д.І. Загородня, І.О. Палій, В.М. Крилов // Труды XIV міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні

інформаційні та електронні технології» («СІЕТ-2013»). – Одеса, 27-31 травня 2013. – С. 49-52.

12. Загородня Д.І. Алгоритм контурної сегментації в системах відеоспостереження / Д.І. Загородня, К.Ю. Ковалок, А.О. Саченко, В.М. Крилов // Всеукраїнська наукова Інтернет-конференція «Економічна кібернетика – інженерія економіки (випуск 24)» / Збірник тез доповідей: випуск 24. – Тернопіль: Тайп, 29-30 листопада 2013. – С. 3-5.

13. Zahorodnia Diana. Contour Segmentation Method in Video Surveillance Systems / Diana Zahorodnia, Kostantin Kovalok, Anatoly Sachenko, Viktor Krylov, Sergiy Nychporuk // Proceedings of the International Conference “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science” (TCSET’2014). – Lviv-Slavske (Ukraine), February 25 – March 1, 2014. – P. 405.

14. Загородня Д.І. Налаштування параметрів алгоритму виділення характерних точок на основі вейвлету Хаара / Д.І. Загородня // Сучасні комп’ютерні інформаційні технології: матеріали V Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів АСІТ’2015. – Тернопіль: ТНЕУ, 22-23 травня 2015. – С. 68-70.

15. Загородня Д.І. Метод виділення характерних точок зображення на основі вейвлет-аналізу функції кривизни / Д.І. Загородня, К.Ю. Ковалок, В.М. Крилов // Труды XVI міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та електронні технології» («СІЕТ-2015») – Одеса, 25-29 травня 2015. – С. 50-51.

16. Загородня Д.І. Підхід до структурно-ієрархічної контурної сегментації / Д.І. Загородня // Інформатика, управління та штучний інтелект. Матеріали другої науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. – Харків: НТУ «ХПІ», 26-27 листопада 2015. – С. 31.

17. Zahorodnia D.I. Structural-Hierarchical Principle of Contour Segmentation / D.I. Zahorodnia, P.E. Vykovyy // Current Issues in Modern Technologies: Book of abstracts of the IV International Scientific and Technical Conference of Young Researchers and Students. – Ternopil: TNTU, 25-26 November 2015. – Vol. 2. – P. 20-21.

18. Загородня Д.І. Контроль доступу до комп’ютера на основі розпізнавання зображення обличчя користувача / Д.І. Загородня, О.І. Губчакевич, В.В. Кисіль. // Актуальні задачі сучасних технологій: збірник тез доповідей V міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, – Тернопіль: ТНТУ, 17–18 листопада 2016. – Том 2. – С. 42-43.

## АНОТАЦІЯ

**Загородня Д.І.** Інформаційна технологія структурно-статистичної ідентифікації ієрархічних об’єктів за характерними точками їх контурів в автоматизованих системах відеонагляду. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології. – Тернопільський національний економічний університет, Тернопіль, 2017.

Дисертація присвячена розробленню методів контурної сегментації (КС), виділенню характерних точок (ХТ) контуру та ідентифікації ієрархічних об'єктів для підвищення швидкодії автоматизованих систем відеонагляду (АСВН) при обмежених обчислювальних ресурсах.

У роботі розроблено метод та базову інформаційну технологію (ІТ) контурної сегментації на основі методу Канні, відмінною особливістю яких є використання вейвлет-функцій, що дозволило отримати послідовність контурних препаратів ієрархічного об'єкта з регульованою деталізацією. Розроблено метод та базову ІТ виділення характерних точок контуру з регульованою деталізацією об'єктів, в основі яких лежить вейвлет-аналіз функції кривизни, що дозволило зменшити кількість точок контуру залежно від мети обробки. Удосконалено метод та базову ІТ структурно-статистичної ідентифікації об'єктів на базі застосування ієрархічної послідовності ідентифікаційних векторів, розрахованих на основі характерних точок контуру об'єкта з регульованою деталізацією, що дозволило підвищити оперативність АСВН при збереженні високої достовірності. На основі розроблених методів створено інформаційну технологію структурно-статистичної ідентифікації ієрархічних об'єктів за характерними точками контурів, яку впроваджено у комп'ютерні системи відеонагляду, що дозволило зменшити час обробки кадру у 8-15 разів (в залежності від вмісту кадру та кількості об'єктів на ньому) при невеликому зниженні достовірності (5-10%).

**Ключові слова:** автоматизована система відеонагляду, контур, вейвлет-аналіз функції кривизни, характерні точки, структурно-статистична ідентифікація, ідентифікаційний вектор.

## АННОТАЦИЯ

**Загородная Д.И.** Информационная технология структурно-статистической идентификации иерархических объектов по характерным точкам их контуров в автоматизированных системах видеонаблюдения. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Информационные технологии. – Тернопольский национальный экономический университет, Тернополь, 2017.

Диссертация посвящена разработке методов контурной сегментации (КС), выделению характерных точек (ХТ) контура и идентификации иерархических объектов для повышения быстродействия автоматизированных систем видеонаблюдения (АСВН) при ограниченных вычислительных ресурсах.

В диссертационной работе проанализированные существующие АСВН, в которых количество камер постоянно растет и, соответственно, увеличивается ресурсоемкость. Однако существенным ограничением таких систем является необходимость большого количества операторов для их обслуживания. Это обусловило переход к интеллектуальным АСВН. Однако, такие системы снижают оперативность АСВН и требуют значительных вычислительных ресурсов. Для повышенной оперативности АСВН предложено уменьшить объем данных, обрабатываемых на этапах сегментации и идентификации объектов распознавания используя методы вейвлет-

анализа. Методы вейвлет-анализа позволяют выделять на видеоинформации объекты и детали объектов различных геометрических размеров, в соответствии с заданной целью обработки и использовать иерархические методы и базовые информационные технологии (ИТ) КС, выделение ХТ и идентификации, что, в свою очередь, позволяют повысить оперативность прикладных интеллектуальных информационных систем видеонаблюдения при достаточном уровне достоверности распознавания.

В работе разработан метод и базовая ИТ выделения характерных точек контура с регулируемой детализацией объектов, в основе которых лежит вейвлет-анализ функции кривизны, что позволило уменьшить количество точек контура в соответствии с целью обработки. Экспериментальные исследования показали, что разработанный метод и базовая ИТ существенно превосходит дифференциальный метод по помехоустойчивости в 1,2 - 2 раза, а интерполяционный метод по точности в 1,5 - 3 раза.

Получил дальнейшее развитие метод и базовая ИТ контурной сегментации на базе метода Канни, отличительной особенностью которых является использование вейвлет-функций в качестве подчеркивающего преобразования, что позволило получить последовательность контурных препаратов иерархического объекта с регулируемой детализацией. Экспериментальные исследования показали его высокую помехоустойчивость по критерию Прета (в 1,2 - 1,5 раза выше по сравнению с методом Канни).

Усовершенствован метод и базовая ИТ структурно-статистической идентификации объектов на базе применения иерархической последовательности идентификационных векторов, рассчитанных на основе характерных точек контура объекта с регулируемой детализацией. Данный метод обеспечивает инвариантность к геометрическим преобразованиям объектов (смещения в поле зрения, поворота объекта и масштабирования), а также обладает высокой помехоустойчивостью.

На основе разработанных методов создана ИТ структурно-статистической идентификации иерархических объектов по ХТ контуров, которая используется в компьютерной системе видеонаблюдения. Исследования показали, что применение этих процедур в ИТ видеонаблюдения позволило уменьшить время обработки кадра в 8-15 раз (в зависимости от содержания кадра и количества объектов в нем) при небольшом снижении достоверности (5-10%)

**Ключевые слова:** автоматизированная система видеонаблюдения, контур, вейвлет-анализ функции кривизны, характерные точки, структурно-статистическая идентификация, идентификационный вектор.

## ANNOTATION

**Zahorodnia D.I.** Informational Technology for Structural and Statistic Identification of Hierarchical Objects from Characteristic Points of their Contours in Automated Video Surveillance Systems. – Manuscript.

Thesis for a Ph.D. (candidate of technical science) degree by specialty 05.13.06 - Information technologies. - Ternopil National Economic University, Ternopil, 2017.

Dissertation is devoted to the development of contour segmentation methods based on the Kanny's algorithm and identification of contour characteristic points for improving performance of automated video surveillance systems within limited computing resources.

The method and basic information technology of the contour segmentation on the basis of Kanny's method was developed in the dissertation, a distinctive feature of which is usage as underlining wavelet transformation functions which allowed to obtain a sequence of the hierarchical object contour items with the detailing that can be regulated; the method and basic information technology of the contour inflection points selection with the objects' regulated detailing were developed, in the basis of which resides the wavelet analysis of the curvature function which allowed to diminish the amount of the contour inflection points in accordance to the goal of the processing.

The method and basic information technology of the structure and statistic object identification on the basis of identification vectors with hierarchical sequence implementation calculated on the basis of the object's contour inflection points with a regulated detailing was improved, it allowed to increase working speed of the whole automated video surveillance system with the high authenticity. On the basis of the developed methods the information technology of the structural and statistical identification of hierarchical objects by the contour characteristic points was created, it was implemented in automated computer video surveillance systems, which allowed to reduce the frame processing time in 8-15 times (depending on the frame content and the amount of objects on it) with a slight decrease in reliability (5-10%).

**Keywords:** automated video surveillance system, characteristic contour points, Haar wavelet, structural and statistic identification, identification vector.

Підписано до друку 06.11.2017 р.  
Формат 60x90/16. Гарнітура Times.  
Папір офсетний. Друк на дублюкаторі.  
Умов. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,0.  
Зам. № А045-17. Тираж 110 прим.

Видавець та виготовлювач  
Тернопільський національний економічний університет  
вул. Львівська, 11, м. Тернопіль 46004

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців ДК № 3467 від 23.04.2009 р.*

Видавничо-поліграфічний центр «Економічна думка ТНЕУ»  
вул. Бережанська, 2, м. Тернопіль 46004  
тел. (0352) 47-58-72  
E-mail: [edition@tneu.edu.ua](mailto:edition@tneu.edu.ua)