

УДК 004.93

Г. Л. ЛИСЕНКО, М. Г. ТАРНОВСЬКИЙ, Л. В. КУЗЬМЕНКО

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ У ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ ВИЯВЛЕННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ЗОБРАЖЕННЯХ

*Вінницький національний технічний університет,
21021, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна*

Анотація: Розглянуті сучасні підходи до аналізу та розпізнавання зображень, які охоплюють групу методів розпізнавання образів без вчителя. Зокрема, проаналізовані основні особливості методів пошуку та розпізнавання об'єктів на зображеннях, основаних на кореляційному та морфологічному аналізі.

Ключові слова: розпізнавання зображень, аналіз зображень, пошук та виявлення об'єктів на зображеннях.

Анотация: Рассмотрены современные подходы к анализу та распознаванию изображений, которые охватывают группу методов распознавания образов без учителя. В частности, проанализированы основные особенности методов поиска и распознавания объектов на изображениях, основанных на корреляционном и морфологическом анализе.

Ключевые слова: распознавание изображений, анализ изображений, поиск и выявление объектов на изображениях.

Abstract: Modern approaches to the analysis of image recognition that cover a group of methods for pattern recognition without a teacher are considered. In particular, the main features of the methods of searching and recognizing objects in images based on correlation and morphological analysis are analyzed.

Keywords: image recognition, image analysis, search and detection of objects in images.

ВСТУП

Завдання розпізнавання образів - це завдання віднесення вихідних даних до певного класу за допомогою виділення суттєвих ознак, що характеризують ці дані, із загальної маси несуттєвих даних. Розпізнавання образів є однією з найбільш фундаментальних проблем в області інтелектуальних систем та штучного інтелекту. Принципове значення проблеми тісно пов'язане з питанням про те, що може і що принципово не може робити машина [1, 2].

З прикладної точки зору вирішення проблем розпізнавання відкриває можливості автоматизації процесів, які до цих пір пов'язували лише з діяльністю людини. З врахуванням того, що одним з найбільш важливих джерел інформації є зорове сприйняття, до основних задач, що вирішуються в сучасних інформаційних системах, на самперед, можна віднести задачі розпізнавання та ідентифікації об'єктів в системах технічного зору, розпізнавання букв, цифр, слів або фраз, ідентифікація за фотографією або відбитками пальців, розпізнавання жестів, виявлення цілі.

Специфіка алгоритмів автоматичного аналізу зображень, визначається такими основними особливостями. По-перше [3], в інформаційних системах потрібно вирішувати не загальну проблему автоматичного розуміння зображення довільної сцени, а набагато більш визначену і вузьку задачу проблемно-орієнтованої інтерпретації зображення, яка часто зводиться або до сегментації зображення на деякі області з подальшим аналізом розташування і властивостей цих областей, або до виявлення та ідентифікації на зображенні семантичних об'єктів. І в тому і в іншому випадку в основі рішення задачі аналізу зображення лежить якась інтуїтивно зрозуміла або до певної міри формалізована яскравісно-геометрична модель областей або об'єктів, що підлягають виділенню. По-друге, до алгоритмів обробки зображень в системах інформаційного забезпечення пред'являються спеціальні вимоги, пов'язані з конкретними характеристиками розроблюваної або вже існуючої системи управління: швидкодія, вірогідність виявлення, точність вимірювання різних характеристик об'єктів. Таким чином, в основі обробки і аналізу зображень як прикладної задачі лежать завдання математичної формалізації яскравісно-геометричних моделей зображень (об'єктів) та побудови процедур (методів) аналізу зображень на основі цих формалізованих моделей. В області аналізу зображень прагнення до створення досить універсальних і в той самий час предметно адекватних моделей і процедур для різних прикладних задач призвело до виникнення цілого ряду на перший погляд абсолютно різних методів сучасного комп'ютерного зору.

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ АНАЛІЗУ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ БЕЗ ВЧИТЕЛЯ

Сучасні підходи до аналізу та розпізнавання зображень об'єктів реалізуються із застосуванням математичного апарату, заснованого на використанні методів Фур'є та вейвлет аналізу. Вейвлет аналіз на відміну від Фур'є аналізу [4] спирається на спеціальні «малі хвилі» (вейвлети), обмежені у часі (у випадку зображень - у просторі). Це дозволяє у вейвлет-представленні відразу мати і частотну і просторову інформацію. Вейвлет аналіз призначений, перш за все, для одночасного аналізу зображення в декількох масштабах, який отримав назву кратномасштабного аналізу. За допомогою вейвлетів функції представляються як композиція грубої низькочастотної апроксимації і уточнюючих компонент (деталей), що представляють відсутні в апроксимації елементи. Незалежно від виду функції вейвлет представляє функцію як ієрархію рівнів відображення з різною точністю деталізації. У процедурах обробки зображень вейвлет перетворення використовується для зменшення рівня шумів, аналізу текстур, виділення контурів об'єктів і стиснення зображень.

Традиційні схеми виявлення дрібно і середньорозмірних об'єктів на зображеннях полягали в проведенні первісної яскравісної сегментації аналізованого зображення з метою встановлення «області інтересу», що обмежує об'єкт зображення, а потім у використанні різних ознакових описів форми об'єкта для співвіднесення знайдених значень ознак з їх еталонними значеннями. При ускладненні складу сцени, умов спостереження і збільшенні шуму для таких методів спостерігається суттєве зростання імовірності аномальних помилок виявлення. Особливо це відноситься до простих схем яскравісної сегментації за порогом, які зазвичай використовувалися при виявленні області інтересу або «носія» об'єкта. Однак використання методів нелінійної фільтрації безпосередньо на етапі сегментації зображення дозволяє значно підвищити ефективність процедур виділення дрібно і середньорозмірних об'єктів на цифрових зображеннях [4].

Для пошуку та виявлення об'єктів на зображенні сьогодні найбільше поширення отримав запропонований у 2001 р метод Віоли-Джонса, в якому використовується принцип сканувального вікна. Пошук об'єктів здійснюється за допомогою ознак Хаара, основою для яких стали вейвлети Хаара. Сама найпоширеніша реалізація цього метода належить бібліотеці комп'ютерного зору OpenCV і використовується для розпізнавання облич [5]. На даний час існує кілька оптимізацій метода Віоли-Джонса. Так, за рахунок використання адаптованого сканувального вікна, крок зміщення якого може змінюватися і бути різним для осей X та Y , вдається дещо підвищити достовірність та швидкість детектування [6].

Обробка зображень з урахуванням форми і розміру наявних на зображенні областей реалізується із застосуванням математичної морфології Серра. Морфологічні оператори Серра дозволяють виділяти чи видаляти на зображеннях дрібно і середньорозмірні об'єкти заданої форми та розміру, а також фільтрувати (згладжувати) форму великорозмірних об'єктів [4].

Для пошуку та виділення аналітично заданих геометричних примітивів сьогодні застосовується група методів, заснованих на ідеї перетворення Хафа (Hough). Основна ідея перетворення Хафа подібна до ідеї методу «загальних геометричних місць» [4].

Виявлення об'єктів, заданих еталонами, здійснюється методами кореляційного аналізу. Кореляційний аналіз об'єднує групу методів, в яких передбачається, що для кожного класу об'єктів відомо одне або кілька еталонних зображень. На основі цієї інформації класифікується кожне зображення, з тих що пред'являються. Традиційна техніка порівняння зображення з еталоном ґрунтується на розгляді зображень як двовимірних функцій яскравості (дискретних двовимірних матриць інтенсивності). При цьому вимірюється або відстань між зображеннями, або міра їх близькості [4].

При розпізнаванні зображень об'єктів шляхом порівняння з еталоном для підвищення імовірності вірного розпізнавання база даних еталонів збільшується, що призводить до зростання часу розпізнавання. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є використання теоретико-інформаційного підходу та загальносистемного принципу мінімуму інформаційної неузгодженості Кульбака-Лейблера [7]. За допомогою алгоритму самонавчання на основі метрики Кульбака-Лейблера з бази даних, що містить велику кількість зображень певної множини об'єктів, відбираються зображення-еталони. Для кожного зображення-еталона будується гістограма деякої ознаки, наприклад, яскравості, кольору, текстури, форми. Розпізнавання здійснюється шляхом порівняння гістограм зображення об'єкта та зображень-еталонів за принципом мінімуму інформаційної неузгодженості. Співставлення гістограм здійснюється за допомогою класичного байєсівського підходу для розпізнавання без вчителя – на основі критерію максимуму апостеріорної імовірності того, що зображення X належить класу, заданому еталоном X_i . Це дозволяє зменшити об'єм обчислень за рахунок виключення операції динамічного вирівнювання гістограм. Для підвищення обчислювальної ефективності відбір зображень-еталонів та сам процес розпізнавання виконують з використанням методу направленої перебору альтернатив [8].

У багатьох системах розпізнавання зображень застосовують проєкційні методи побудови простору ознак меншої розмірності. Одним з широко поширених методів зменшення розмірності зображень є метод головних компонент (МГК) [9]. У даний час для вирішення завдання пошуку і розпізнавання об'єктів пропонується безліч алгоритмів, що використовують МГК.

Технологія розпізнавання зображень з використанням проєкційних методів включає два етапи. На першому етапі виконується побудова класифікатора з використанням навчального набору зображень. На другому етапі здійснюється розпізнавання невідомих зображень за допомогою побудованого класифікатора. Для побудови класифікатора використовують різні методи, з яких можна відзначити лінійний дискримінантний аналіз (ЛДА). Метод ЛДА дозволяє перетворити вихідний простір зображень в малорозмірний простір ознак, в якому зображення класів групуються навколо їх центрів, а центри класів віддаляються один від одного настільки, наскільки це можливо [9]. Тобто за допомогою ЛДА максимізується відношення міжкласових відмінностей до внутрішньокласових.

При спільному використанні методу головних компонент та лінійного дискримінантного аналізу для вирішення завдань розпізнавання формується навчальна вибірка, що складається із зображень, згрупованих у класи. Один клас може містити десятки і навіть сотні зображень об'єкта. Для скорочення розмірності зображень використовується метод головних компонент. Для розділення класів зображень застосовується ЛДА.

При розпізнаванні зображень зазвичай виконується попередня обробка зображень, яка приводить їх до стандартної форми (масштаб, центрування, відсікання фону, вирівнювання яскравості). Нормалізація зображень вимагає додаткових обчислень, що на етапі побудови класифікатора не є критичним, але на етапі розпізнавання може виявитися неприйнятним. Крім того, нормалізація може призводити до втрати інформативності зображень, зменшуючи достовірність розпізнавання. З іншого боку, відсутність попередньої обробки вимагає збільшення числа зображень в класі для забезпечення належної достовірності розпізнавання. Внаслідок цього трудомісткість обчислення головних компонент може суттєво збільшитися. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є підхід, при якому обчислення головних компонент великих наборів зображень пропонується здійснювати за алгоритмом блочно-ортогональної конденсації [9], який є розвитком алгоритму багаторівневої лінійної конденсації [10].

Подальшим розвитком ідей кореляційного аналізу з використанням еталонів є метод порівняння форм та морфологічний аналіз. Метод порівняння форм зображень використовує міру взаємної інформації, яка обчислюється за емпіричним спільним розподілом яскравостей двох зображень [11]. Проте такий підхід виходить із статистичних міркувань і не розглядає поняття форми зображення в явному вигляді [12].

В основі методів морфологічного аналізу, що запропонований Ю. П. Питьєвим, лежить порівняння зображень за формою, під якою розуміється частина інформації, що зберігається при варіаціях умов формування зображення [4, 13]. Порівняння здійснюється за допомогою морфологічного коефіцієнта кореляції. Прикладом форми може бути розбиття зображення на множини областей постійної яскравості [13]. Відповідно до такого підходу частина інформації, що характеризує геометричну форму об'єкта, міститься у формі областей постійної яскравості. Значення ж яскравості є несуттєвим з точки зору геометричних властивостей об'єкта, оскільки в різних умовах яскравість може бути різною. В рамках морфології Питьєва забезпечується вирішення таких основних задач аналізу зображень, як оцінювання схожості зображень, взаємне їх прив'язування, виділення відмінностей між зображеннями (форм), порівняння зображень (форм) за складністю, оцінювання схожості/відмінності форм.

Морфологічні методи аналізу зображень орієнтовані на рішення задач, які можуть бути згруповані в два великі класи. Перший клас включає завдання виділення невідомих об'єктів на зображеннях відомої сцени, отриманих при невідомих умовах. Труднощі, з якими традиційно стикаються при вирішенні цього завдання, полягають у тому, що зміна умов реєстрації призводить до таких змін у зображенні, які часто виявляються більш суттєвими, ніж поява/зникнення об'єктів на ньому. Морфологічні методи дозволяють успішно впоратися з цими проблемами. Другий клас завдань пов'язаний з пошуком відомих об'єктів на невідомій сцені [4].

На результати морфологічного аналізу впливає якість попередньої сегментації зображень. Оскільки форма мозаїчних зображень описується множиною областей однорідної яскравості, результати сегментації, а значить і результати аналізу, чутливі до особливостей геометричної форми об'єкта, рівномірності його освітлення, однорідності фону, значення шуму і т.п. Для виключення попередньої сегментації було запропоновано застосовувати згладжувальні дифузійні фільтри, які визначаються тепловими ядрами [12]. Такий підхід отримав назву дифузійної морфології.

В рамках дифузійної морфології, яка узагальнює морфологічний аналіз зображень Питьєва, порівняння зображень за формою здійснюється з використанням дифузійної кореляції за допомогою так званого морфологічного коефіцієнта дифузійної кореляції, який визначається на основі швидкої

дифузійної фільтрації. Дифузійний фільтр будується на основі локальної інформації про подібність околиць точок описуваного зображення між собою. Всі засоби аналізу форм, запропоновані в рамках морфології Питьєва, можуть бути також отримані і в дифузійній морфології шляхом використання узгодженого з формою зображення дифузного оператора [12].

Дифузійна морфологія, як і класична морфологія Питьєва, є стійкою до зміни яскравості (кольору), проте не дозволяє порівнювати зображення однієї сцени, отримані при різній геометрії зйомки (зсув, переміщення, зміна форми частин зображення) [14, 15]. Можливими шляхами вирішення цієї проблеми є використання фільтрів взаємного контрастування та референтних фільтрів. Обидва підходи спрямовані на отримання можливості відрізнити відмінності у зображеннях, пов'язані зі зміною ракурсу зйомки або геометрії самої сцени, та відмінності, пов'язані з появою/зникненням окремих об'єктів.

При застосуванні фільтру на основі взаємного контрастування завдання порівняння зображень вирішується двома засобами: оцінюванням ступеня подібності зображень за формою на основі морфологічного коефіцієнта взаємного контрастування та виділенням відносних змін у сцені на основі нормалізації фону за взаємним контрастуванням. Як і у випадку дифузійної морфології попередня сегментація зображення при цьому не потрібна. У процесі розрахунку відгуку фільтра використовується ваговий коефіцієнт, який є локальною мірою подібності фрагментів зображень [14]. Треба відзначити перспективність фільтрації на основі взаємного контрастування з точки зору широких перспектив її подальшої модифікації та оптимізації, що обумовлено гнучкістю налаштування як параметрів процедури фільтрації, так і структури самого фільтра за допомогою використання різних мір схожості фрагментів зображень.

Порівняння зображень з використанням референтних фільтрів є подальшим розвитком методів дифузійної морфологічної фільтрації. Основна ідея цього підходу полягає в тому, щоб відмовитися від схеми «узгодимо фільтр з еталоном і відфільтруємо тестове зображення» і перейти до схеми «оцінимо взаємну схожість елементів тестового зображення і еталона і відфільтруємо тестове зображення з урахуванням цієї схожості» [15].

Ще один метод пошуку об'єктів ґрунтується на описі зображення на основі синтезу базових ідей вейвлет-аналізу та морфологічного підходу [16, 17]. В основі методу лежить особливий спосіб побудови ієрархії локалізованих форм для зображення в цілому з використанням так званих морфлетів [16] - «хаараподібних» вейвлетів, що узгоджені за формою із зображенням або класом зображень.

Морфлети на відміну від класичних вейвлетів Хаара не мають «батьківського» вейвлета, що не накладає обмежень на їх форму. При цьому, дереву локалізованих форм можна поставити у відповідність дерево морфлетів, яке дозволяє в рамках підходу Питьєва вирішувати завдання з пошуку і локалізації об'єктів. Завдання пошуку об'єкта представляється як завдання пошуку піддерева з певними характеристиками у загальному дереві морфлетів кадру. Це дозволяє без використання ковзного вікна, а також піраміди ознак проводити пошук об'єктів складної форми будь-якого масштабу, а також складної форми. Ще однією особливістю такого підходу є точне виділення меж шуканого об'єкта [16, 17].

ВИСНОВКИ

За останній час досягнуто значний прогрес у створенні інформаційних систем автоматичного розпізнавання образів, в яких в тих чи інших поєднаннях використовуються розглянуті методи. Поряд із цим поки ще не знайдено універсального підходу, який би давав вирішення проблеми розпізнавання у цілому. З проведеного аналізу витікає, що достовірність розпізнавання для усіх сучасних методів у той чи іншій мірі залежить від ракурсу, масштабу, орієнтації об'єкта. Крім того, об'єкти одного і того самого образу можуть досить сильно відрізнитися один від одного, що також негативно впливає на ефективність використання наявних методів. Отже, на теперішній час проблеми ефективного розпізнавання одного і того самого об'єкта в різних умовах сприйняття поки ще залишаються до кінця невіршеними.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Патрик Э. Основы теории распознавания образов / Э. Патрик; пер. с англ. под. ред. Б.Р. Левина. – М.: Сов. радио, 1980. – 480 с.
2. Садыхов Р. Х. Обработка изображений и идентификация объектов в системах технического зрения / Р. Х. Садыхов, А. А. Дудкин // Искусственный интеллект. - №3, 2006. – С. 694 - 703.
3. Визильтер Ю. В. Теория и методы морфологического анализа изображений: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук : специальность 05.13.17 "Теоретические основы информатики" / Ю. В. Визильтер. – Москва. – 2008. – 32 с.
4. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision / Ю. В. Визильтер, С. Ю. Желтов, В. А. Князь и др. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 464 с.

5. Великий Я. О. Анализ принципа распознавания объектов на изображении методом Виолы–Джонса / Я. О. Великий // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2015. – № 68 – С. 162-166.
6. Нургатин А. Р. Метод улучшения алгоритма Виолы-Джонса / А.Р. Нургатин // Математические структуры и моделирование. – 2014. – № 4(32). – С. 83-88.
7. Савченко А. В. Теоретико-вероятностная модель полутонового изображения для задачи распознавания образов без учителя на основе метода направленного перебора / А. В. Савченко // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35, № 3 – С. 385-294.
8. Савченко А. В. Метод направленного перебора альтернатив в задаче распознавания полутоновых изображений / А. В. Савченко // Автометрия. – 2009. – Т. 45, № 3. – С. 90-98.
9. Мокеев В. В. О решении задачи распознавания изображений методом главных компонент и линейным дискриминантным анализом / В. В. Мокеев, С. В. Томилов // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 4 – С. 871-880.
10. Мокеев В. В. О повышение эффективности вычислений главных компонент в задачах анализа изображений / В. В. Мокеев // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35, № 4 – С. 29-36.
11. Maes, F. Multimodality Image Registration by Maximization of Mutual Information / F. Maes, A. Collignon, D. Vandermeulen, G. Marchal, P. Suetens // IEEE Transactions on Medical Imaging. – 1997. – Vol. 16(2). – P. 187-198.
12. Визильтер Ю. В. Сравнение изображений по форме с использованием диффузной морфологии и диффузной корреляции / Ю. В. Визильтер, В. С. Горбачевич, А. Ю. Рубис, О. В. Выголов // Компьютерная оптика. – 2015. – Т. 39, № 2. С. 265-274.
13. Пытьев Ю. П. Методы морфологического анализа изображений / Ю. П. Пытьев, А. И. Чуличков. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 336 с.
14. Рубис А. Ю. Морфологическая фильтрация изображений на основе взаимного контрастирования / А. Ю. Рубис, М. А. Лебедев, Ю. В. Визильтер, О. В. Выголов // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 1 – С. 73-79.
15. Лебедев М. А. Выделение отличий на мозаичных изображениях на основе референтных фильтров / М. А. Лебедев, А. Ю. Рубис, В. С. Горбачевич, Ю. В. Визильтер, О. В. Выголов // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 1 – С. 80-86.
16. Визильтер Ю. В. Морфлеты: новый класс древовидных морфологических описаний формы изображений / Ю. В. Визильтер, В. С. Горбачевич, С. Ю. Желтов, А. Ю. Рубис, А. В. Воронников // Компьютерная оптика. – 2015. – Т. 39, № 1 – С. 101-108.
17. Визильтер Ю. В. Поиск объектов на изображении с использованием морфлетных описаний / Ю. В. Визильтер, В. С. Горбачевич, Б. В. Вишняков, С. В. Сидякин // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 3. – С. 406-411.

REFERENCES

1. Patrik E. Osnovy teorii raspoznavaniya obrazov / E. Patrik; per. s angl. pod. red. B.R. Levina. – М.: Sov. radio, 1980. – 480 s.
2. Sadykhov R. KH. Obrabotka izobrazheniy i identifikatsiya ob"yektov v sistemakh tekhnicheskogo zreniya / R. KH. Sadykhov, A. A. Dudkin // Iskusstvennyy intellekt. - №3, 2006. – S. 694 - 703.
3. Vizil'ter Yu. V. Teoriya i metody morfologicheskogo analiza izobrazheniy: avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchenoy stepeni doktora fiziko-matematicheskikh nauk : spetsial'nost' 05.13.17 "Teoreticheskiye osnovy informatiki" / Yu. V. Vizil'ter. – Moskva. – 2008. – 32 s.
4. Obrabotka i analiz tsifrovyykh izobrazheniy s primerami na LabVIEW IMAQ Vision / Yu. V. Vizil'ter, S. Yu. Zheltov, V. A. Knyaz' i dr. – М.: DMK Press, 2007. – 464 s.
5. Velikiy Ya. O. Analiz printsipa raspoznavaniya ob"yektov na izobrazhenii metodom Violy–Dzhonsa / Ya. O. Velikiy // Otkrytyye informatsionnyye i komp'yuternyye integrirovannyye tekhnologii. – 2015. – № 68 – S. 162-166.
6. Nurgatin A. R. Metod uluchsheniya algoritma Violy-Dzhonsa / A.R. Nurgatin // Matematicheskiye struktury i modelirovaniye. – 2014. – № 4(32). – S. 83-88.
7. Savchenko A. V. Teoretiko-veroyatnostnaya model' polutonovogo izobrazheniya dlya zadachi raspoznavaniya obrazov bez uchitelya na osnove metoda napravlennogo perebora / A. V. Savchenko // Komp'yuternaya optika. – 2011. – Т. 35, № 3 – S. 385-294.

8. Savchenko A. V. Metod napravlenogo perebora al'ternativ v zadache raspoznavaniya polutonyykh izobrazheniy / A. V. Savchenko // Avtometriya. – 2009. – Т. 45, № 3. – С. 90-98
9. Mokeyev V. V. O reshenii zadachi raspoznavaniya izobrazheniy metodom glavnykh komponent i lineynym diskriminantnym analizom / V. V. Mokeyev, S. V. Tomilov // Komp'yuternaya optika. – 2014. – Т. 38, № 4 – С. 871-880.
10. Mokeyev V. V. O povysheniye effektivnosti vychisleniy glavnykh komponent v zadachakh analiza izobrazheniy / V. V. Mokeyev // Komp'yuternaya optika. – 2011. – Т. 35, № 4 – С. 29-36.
11. Maes, F. Multimodality Image Registration by Maximization of Mutual Information / F. Maes, A. Collignon, D. Vandermeulen, G. Marchal, P. Suetens // IEEE Transactions on Medical Imaging. – 1997. – Vol. 16(2). – P. 187-198.
12. Vizil'ter Yu. V. Sravneniye izobrazheniy po forme s ispol'zovaniyem diffuznoy morfologii i diffuznoy korrelyatsii / Yu. V. Vizil'ter, V. S. Gorbatshevich, A. Yu. Rubis, O. V. Vygolov // Komp'yuternaya optika. – 2015. – Т. 39, №2. С. 265-274.
13. Pyt'yev Yu. P. Metody morfologicheskogo analiza zobrazheniy / Yu. P. Pyt'yev, A. I. Chulichkov. – М.: FIZMATLIT, 2010. – 336 s.
14. Rubis A. Yu. Morfologicheskaya fil'tratsiya izobrazheniy na osnove vzaimnogo kontrastirovaniya / A. Yu. Rubis, M. A. Lebedev, Yu. V. Vizil'ter, O. V. Vygolov // Komp'yuternaya optika. – 2016. – Т. 40, № 1 – С. 73-79.
15. Lebedev M.A. Vydeleniye otlichiy na mozaichnykh izobrazheniyakh na osnove referentnykh fil'trov / M. A. Lebedev, A. Yu. Rubis, V. S. Gorbatshevich, YU. V. Vizil'ter, O. V. Vygolov // Komp'yuternaya optika. – 2016. – Т. 40, № 1 – С. 80-86.
16. Vizil'ter Yu.V. Morflety: novyy klass drevovidnykh morfologicheskikh opisaniy formy izobrazheniy / Yu. V. Vizil'ter, V. S. Gorbatshevich, S.Yu. Zheltov, A. Yu. Rubis, A. V. Vorotnikov // Komp'yuternaya optika. – 2015. – Т. 39, № 1 – С. 101-108.
17. Vizil'ter Yu.V. Poisk ob'yektov na izobrazhenii s ispol'zovaniyem morfletnykh opisaniy / Yu. V. Vizil'ter, V.S. Gorbatshevich, B.V. Vishnyakov, S.V. Sidyakin // Komp'yuternaya optika. – 2017. – Т. 41, № 3. – С. 406-411.

Надійшла до редакції 22.09.2017 р.

ЛИСЕНКО ГЕННАДІЙ ЛЕОНІДОВИЧ – к.т.н., проф. кафедри Лазерної та оптикоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

ТАРНОВСЬКИЙ МИКОЛА ГЕННАДІЙОВИЧ – к.т.н., доцент кафедри Лазерної та оптикоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

КУЗЬМЕНКО ЛІЛІЯ ВІКТОРІВНА – аспірантка кафедри Лазерної та оптикоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.