

УДК 004.932

А. А. ЯРОВИЙ, Л. М. ВАХОВСЬКА, С. В. ПОПЕРЕЧНИЙ

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

*Вінницький національний технічний університет,  
21021, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна,  
Тел.: +380 (432) 598243, E-mail: axa@vinnitsa.com*

**Анотація.** Здійснено аналіз методів та моделей розпізнавання зображень дистанційного зондування Землі. На основі експериментальних досліджень сформовано рекомендації щодо ефективного застосування методів розпізнавання зображень дистанційного зондування Землі.

**Ключові слова:** дистанційне зондування Землі, розпізнавання зображень, SIFT, BRISK, SURF.

**Аннотация.** Проведен анализ методов и моделей распознавания изображений дистанционного зондирования Земли. На основе экспериментальных исследований сформированы рекомендации по эффективному применению методов распознавания изображений дистанционного зондирования Земли.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, распознавание изображений, SIFT, BRISK, SURF.

**Abstract.** The analysis of methods and models of image recognition remote sensing is carried out. The recommendations based on experimental investigations for effective application of methods of image recognition remote sensing were generated.

**Keywords:** Remote sensing of the Earth, image recognition, SIFT, BRISK, SURF.

### ВСТУП

Питання аналізу космічних знімків (кольорових і мультиспектральних), одержуваних як з інформаційних потоків службової відеотелеметрії, так і засобами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), залишаються актуальними і потребують розробки та вдосконалення моделей і програмно-інструментальних засобів. Результати обробки знаходять широке застосування в картографуванні, міському та господарському плануванні, екології, військовій справі, сільському і лісовому господарстві, а також при вирішенні низки практичних завдань: виділення характерних регіонів на знімках, пошуку цільових об'єктів, отриманні кількісних даних (координат, відстаней, площ і т. д.)

Перевагами дистанційних методів дослідження земної поверхні в порівнянні з традиційними є масштабність огляду, можливість отримання глобальної і локальної інформації про природні об'єкти, а також контролю динаміки процесів в реальному часі. Будучи новітнім і досконалим матеріалом, космічні знімки дозволяють в коротші терміни складати і оновлювати різні тематичні карти, картографувати маловивчені, труднодоступні території. Інтегрований аналіз ДЗЗ з матеріалами наземних, аерологічних досліджень дозволяє ефективніше вирішувати наукові і прикладні задачі у сфері комплексних досліджень природного середовища, геології, океанології, пошуку і освоєння корисних копалин, сільського і лісового господарства, тощо [1].

### МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є порівняльний аналіз методів розпізнавання зображень дистанційного зондування Землі, їх комп'ютерне моделювання та програмна реалізація інтелектуальної системи, а також вироблення рекомендацій щодо ефективного використання досліджених методів у задачах ДЗЗ.

### АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Розглянемо в загальних рисах процес обробки та розпізнавання зображення дистанційного зондування Землі, що починається із отримання зображення системою. Наступний крок — детектування критичних точок. Детектування виконується автоматично, після обрання необхідного детектора. Наступним кроком буде описання знайдених точок дескриптором. Описання виконується в автоматичному режимі, після обрання потрібного дескриптора. Детектор і дескриптор обираються з самого початку роботи системи. Далі, обираються еталони для пошуку на зображенні. Після задання

еталонів, вони будуть автоматично опрацьовані обраними детектором та дескриптором. Потім, автоматично виконується пошук еталонів на зображенні. Якщо еталони співпадуть із об'єктом на зображенні, то об'єкт буде виділено. Якщо ж еталони не співпадуть, то об'єкт вважається не знайденим [2].

Критичні точки є унікальними характеристиками об'єкта, що дозволяють порівнювати об'єкт або сам із собою, або зі схожими класами об'єктів. В літературі виділяють три класи методів, що дозволяють знайти критичні точки. Перший клас методів дозволяє знайти критичні точки, які є стабільними протягом декількох секунд. Другий клас методів дозволяє знайти критичні точки, які є стабільними при зміні освітлення і невеликих рухах об'єкта. Наприклад, примітиви Хаара, пошук відблисків, пошук інших специфічних функцій. До таких точок відносяться точки, знайдені методом гістограм спрямованих градієнтів. Третій клас методів дозволяє знайти стабільні точки. Такі методи дозволяють знаходити особливі точки, навіть, при повороті зображення. До основних методів цього класу належать SURF, SIFT, BRISK, а також інші, що є їхніми подальшими модифікаціями [3].

Метод SIFT дозволяє порівнювати зображення, піддані таким трансформаціям як зміна масштабу, зміщення об'єкта на сцені, поворот камери або об'єкта. Алгоритм SIFT працює з бінарними зображеннями [4].

Основним аспектом у детектуванні критичних точок є побудова піраміди гаусіанів і різниць гаусіанів. Гаусіаном (або зображенням, розмитим гаусовим фільтром) є зображення:

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y, \sigma), \quad (1)$$

де  $L$  — значення гаусіана в точці з координатами  $(x, y)$ ,  $\sigma$  — радіус розмиття,  $G$  — гауссове ядро,  $I$  — значення вихідного зображення,  $*$  — оператор згортки.

Різницею гаусіанів називають зображення, отримане шляхом попіксельного віднімання одного гаусіана вихідного зображення від гаусіана з іншим радіусом розмиття:

$$D(x, y, \sigma) = (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \quad (2)$$

Метод SURF вирішує два завдання — пошук критичних точок вихідного зображення і створення їх дескрипторів, інваріантних до масштабування і обертання [5].

Матриця Гессе для двовимірної функції та її детермінанта визначається так:

$$H(f(x, y)) = \begin{bmatrix} \frac{d^2 f}{dx^2} & \frac{d^2 f}{dx dy} \\ \frac{d^2 f}{dx dy} & \frac{d^2 f}{dy^2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\det(H) = \frac{d^2 f}{dx^2} \frac{d^2 f}{dy^2} - \left( \frac{d^2 f}{dx dy} \right)^2 \quad (4)$$

Метод BRISK, так як і SURF здійснює пошук критичних точок вихідного зображення і створення їх дескрипторів, інваріантних до масштабування і обертання [6].

У моделі BRISK, в основному використовують маску з 9—16 пікселів, яка потребує щонайменше 9 послідовних пікселів в 16-піксельному околі, що досить відрізняється за рівнем яскравості, ніж центральний піксель.

### КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Комп'ютерне моделювання обробки та розпізнавання зображень ДЗЗ являє собою проведення практичних експериментів з використанням методів: SIFT, SURF та BRISK. Експерименти проводилися над зображеннями з розширеннями 1920×1080 пікселів. Умови проведення експериментів — пошук об'єкту проводиться протягом 10 секунд із швидкістю зйомки 30 кадрів/секунду.

Метод SIFT, показав свою ефективність при пошуку об'єктів на зображенні, що мають велику кількість критичних точок (рис. 1). Виходячи з результату наведеного експерименту 9 з 10 заданих об'єктів були знайдені. Критичні точки визначаються на переходах змін кольору геометричних форм. Для пошуку малих об'єктів на зображенні необхідно, щоб вони мали достатню кількість критичних точок. Один об'єкт не був знайдений, так як метод SIFT знайшов невелику кількість критичних точок.

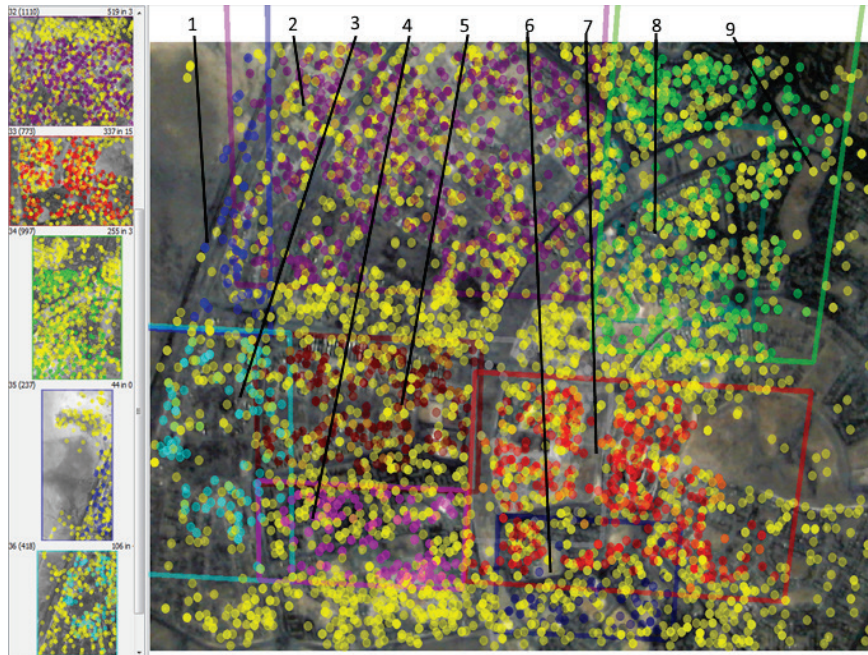


Рис. 1. За методом SIFT знайдено 9 із 10 об'єктів

Метод SURF теж ефективний при пошуку об'єктів на зображенні, що мають велику кількість критичних точок. Критичні точки визначаються на переходах змін кольору геометричних форм. Для пошуку малих об'єктів на зображенні необхідно, щоб вони мали достатню кількість критичних точок. Об'єкти нерозподілені один відносно одного на великі, середні та малі, так як на даному зображенні відсутні різкі перепади кольорів. Один об'єкт не був знайдений. 9-й об'єкт не знаходиться в 30 % випадків. Результат роботи метода SURF із наведеного експерименту відображено на рис. 2.

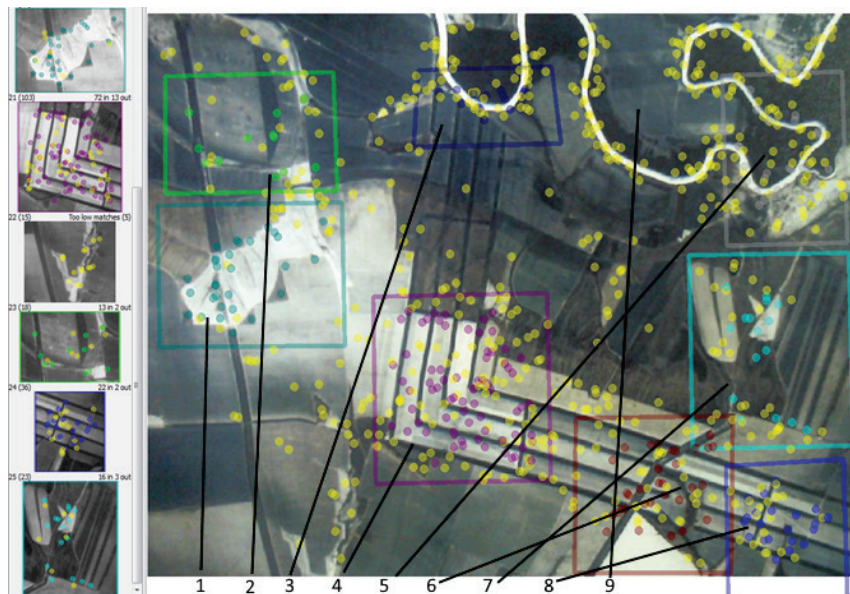


Рис. 2. За методом SURF знайдено 9 із 10 об'єктів

Метод BRISK показав високу швидкість при пошуку великих об'єктів на зображенні. Але має низьку точність при пошуку малих об'єктів, що мають меншу кількість критичних точок. Даний метод можна застосовувати в реальному часі, проте для пошуку великих об'єктів. Результат роботи метода BRISK відображено на рис. 3.

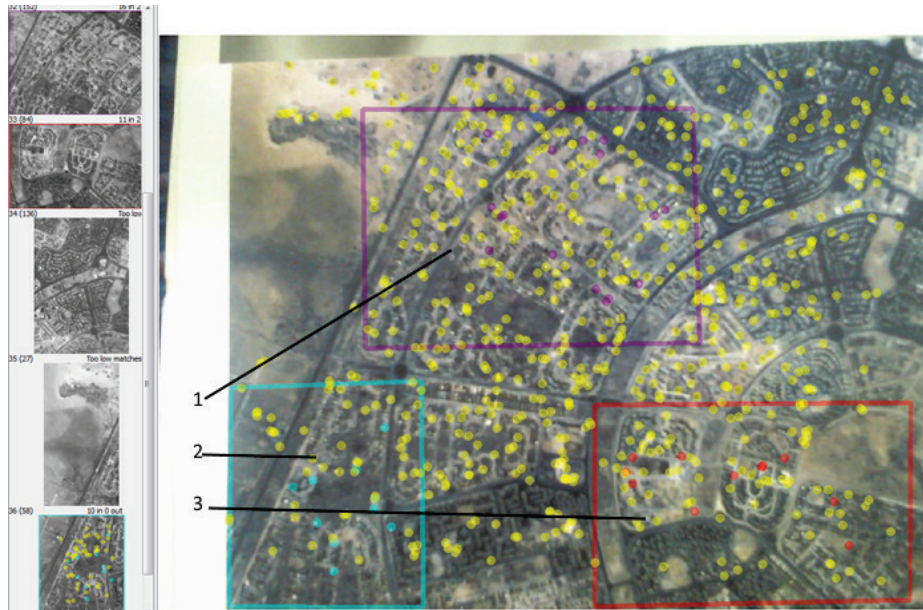


Рис. 3. За методом BRISK знайдено 3 об'єкти із 10

### СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Структурна організація інтелектуальної системи (ІС) розпізнавання зображень ДЗЗ містить програмні модулі, що наведені на рис. 4.



Рис. 4. Структурна організація інтелектуальної системи для обробки зображень дистанційного зондування Землі

Модуль введення зображень виконує функцію подачі зображень для подальшого опрацювання інтелектуальним модулем. Зображення на даний модуль надходять із знімальної апаратури (в проведених експериментах — веб-камери), що підключена до ІС та передаються у модуль опрацювання та модуль задання еталонів.

Модуль задання еталонів відповідає за створення еталонів, що в подальшому будуть застосовані для пошуку об'єктів на зображенні. Після задання еталонів, вони будуть передані в модуль опрацювання. Еталони можна задати, як з вхідного зображення, так і завантажити з електронного носія.

Модуль задання алгоритму опрацювання відповідає за задання детектора та дескриптора, за якими буде працювати модуль опрацювання.

Модуль опрацювання — основний модуль ІС, так як опрацьовує вхідне зображення за обраними алгоритмами і здійснює пошук заданих еталонів на зображенні. Результати опрацювання передаються на модуль відображення результатів опрацювання та модуль відображення статистики.

Модуль відображення результатів опрацювання відображає знайдені об'єкти на зображенні (якщо такі існують) та саме зображення, в якому здійснюється пошук, а також відображає критичні точки.

Модуль відображення статистики відображає статистичні дані, такі як: кількість критичних точок, загальний час пошуку в мілісекундах, кількість знайдених об'єктів.

### ПРИКЛАД РОБОТИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Інтелектуальну систему реалізовано через достатньо простий інтерфейс користувача, щоб спробувати реалізацію на OpenCV методів SIFT, SURF, BRISK та інших детекторів і дескрипторів. Використовуючи веб-камеру, початково задаються еталони для пошуку об'єктів на зображенні, які можуть бути виявлені і виділені після обробки відповідними детекторами та дескрипторами.

Основні функціональні можливості: можливість вибору детекторів та дескрипторів; використання веб-камери для роботи з програмою; задання декількох об'єктів для пошуку; пошук заданих еталонів на зображенні та подальше їх виділення; виконання пошуку в реальному часі; відображення статистичних даних.

Тестування програми здійснювалось на зображеннях однакових розмірностей  $1920 \times 1080$  пікселів, проте зображення мали різну складність для процесу виявлення критичних точок. Приклади роботи алгоритму SIFT наведено на рис. 5, алгоритму SURF — на рис. 6, алгоритму BRISK — на рис. 7.

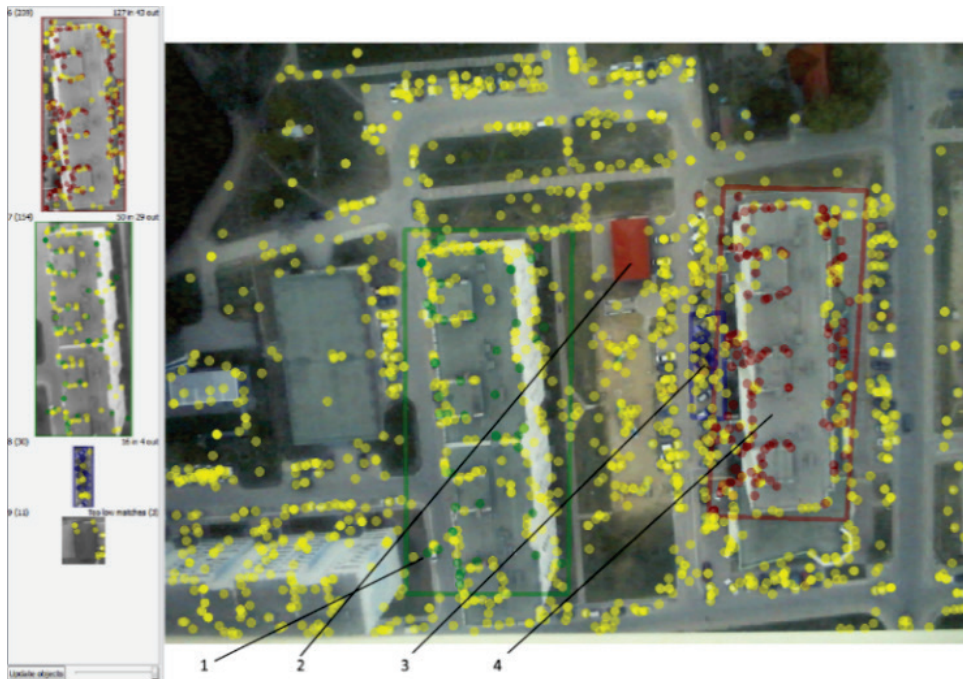


Рис. 5. За методом SIFT знайдено 3 об'єкти із 4 за 517 мс, об'єкт №2 — не знайдено

На рис. 5 відображено результати пошуку чотирьох об'єктів, із них 1 — не знайдено, оскільки об'єкт є малим і являє собою дім із червоним дахом, попередні 3 об'єкти були знайдені за 517 мс.

На рис. 6 відображено результати пошуку чотирьох об'єктів, із них 1 — не знайдено, попередні 3 об'єкти були знайдені за 173 мс. Ймовірна причина незнаходження об'єкту — мала кількість критичних точок, оскільки об'єкт є невеликий за розмірами.

На рис. 7 відображено результати пошуку 5 об'єктів. Із них 3 — не знайдено, оскільки об'єкти є невеликими і мають недостатню кількість критичних точок для ефективного функціонування цього методу.

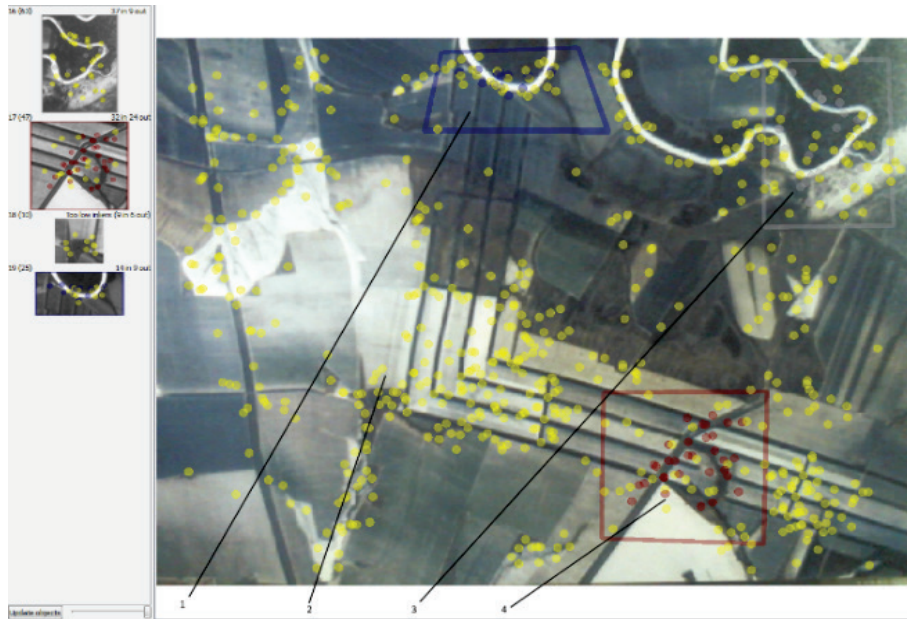


Рис. 6. За методом SURF знайдено 3 із 4 об'єктів за 173 мс

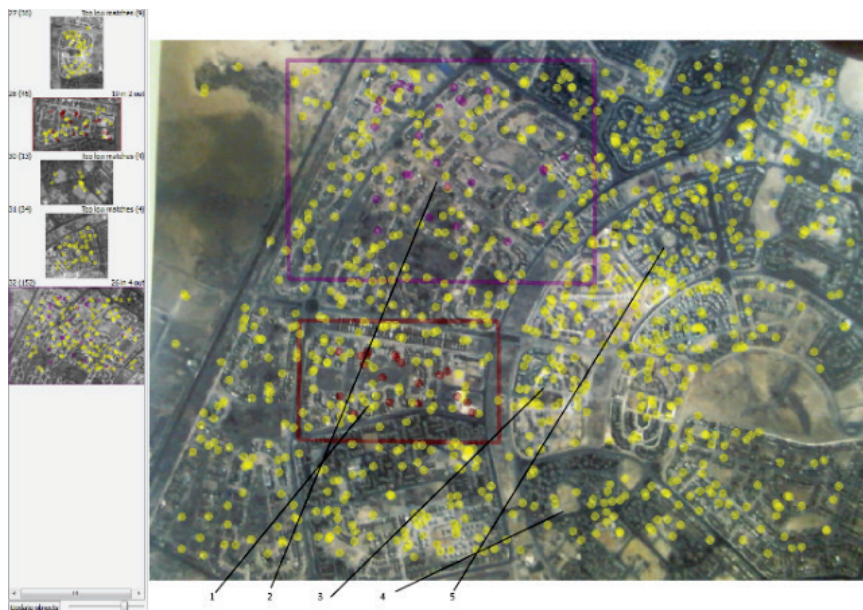


Рис. 7. За методом BRISK знайдено 2 об'єкти із 5 за 46 мс

### ВИСНОВКИ

Здійснено аналіз методів та моделей розпізнавання зображень дистанційного зондування Землі, таких як, SIFT, SURF, BRISK. На основі експериментальних досліджень сформовано рекомендації щодо ефективного застосування методів розпізнавання зображень дистанційного зондування Землі [7]. Наведено основні функціональні можливості розробленої інтелектуальної системи та результати тестування її роботи з використання алгоритмів SIFT, SURF, BRISK.

При проведенні експериментів, найточнішим для пошуку об'єктів на зображенні виявився метод SIFT, оскільки даний алгоритм знаходить найбільшу кількість критичних точок на зображеннях однакової складності. Проте алгоритм даного методу має й суттєвий недолік — потребує багато апаратних ресурсів для нормальної роботи в реальному часі.

Метод SURF також показав хороший результат, наблизений до результату методу SIFT. Похибка в точності невелика, оскільки в 90% випадків коректно ідентифікує ті ж об'єкти, що і метод SIFT. Даний метод знаходить досить багато критичних точок. Основна перевага — потребує менше апаратних ресурсів, ніж SIFT для роботи в реальному часі.

Метод BRISK показав найгірший результат щодо точності розпізнавання з розглянутих методів, що тестувалися, адже лише в 30 % випадків коректно ідентифікує об'єкти. Причина такого результату – виділення малої кількості критичних точок, дескриптор даного методу також не завжди виконує достатній опис, щоб критичні точки були інваріантні до повороту або зміни масштабу. Для досягнення показників коректного розпізнавання в 90 % необхідно, щоб об'єкт, який шукають на зображенні, був великим і немонотонним. Головною перевагою методу BRISK є мала потреба в апаратних ресурсах при роботі в реальному часі.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Проклад Г. Г. Гриднев С. П. Геодезия учебное пособие для вузов / Г. Г. Проклад, С. П. Гриднев. — М. : Академический проект, 2006. — 368 с.
2. Поперечний С. В. Аналіз підходів до оброблення цифрових зображень дистанційного зондування Землі [Електронний ресурс]: Конференції ВНТУ / Режим доступу : <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2016/paper/view/1052/642> — Назва з екрану.
3. Распознавание образов [Електронний ресурс]: Хабрахабр / Режим доступу : <https://habrahabr.ru/post/208090/> - Назва з екрану.
4. SIFT [Електронний ресурс]: Хабрахабр / Режим доступу : <https://habrahabr.ru/post/106302/> — Назва з екрану.
5. SURF [Електронний ресурс]: Хабрахабр / Режим доступу : <https://habrahabr.ru/post/152679/> — Назва з екрану.
6. BRISK [Електронний ресурс]: Роботи / Режим доступу : <https://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/rg/papers/brisk.pdf> — Назва з екрану.
7. Яровий А. А. Аналіз методів та моделей розпізнавання зображень дистанційного зондування Землі / Яровий А. А., Поперечний С. В. : Збірник праць X Міжнародної науково-практичної конференції [Інтернет-Освіта-Наука (ІОН-2016)], (Вінниця, 11—14 жовтня 2016 р.) — Вінниця, ВНТУ, 2016. — С. 97—100.

#### REFERENCES

1. Proklad G.G. Gridnev S.P. Geodeziya uchebnoye posobiye dlya vuzov / G. G. Proklad, S. P. Gridnev — М. : Akademicheskiiy projekt, 2006. — 368 s.
2. Poperechniy S. V. Analiz pidkhdov do obroblyennya tsifrovikh zobrazhen' distantsiynogo zonduvannya Zemli [Yeletkronniy resurs]: Konferentsii VNTU / Rezhim dostupu: <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2016/paper/view/1052/642> — Nazva z yekranu.
3. Raspoznavaniye obrazov [Yeletkronniy resurs]: Khabrakhabr / Rezhim dostupu: <https://habrahabr.ru/post/208090/> — Nazva z yekranu.
4. SIFT [Yeletkronniy resurs]: Khabrakhabr / Rezhim dostupu: <https://habrahabr.ru/post/106302/> — Nazva z yekranu.
5. SURF [Yeletkronniy resurs]: Khabrakhabr / Rezhim dostupu: <https://habrahabr.ru/post/152679/> — Nazva z yekranu.
6. BRISK [Yeletkronniy resurs]: Roboti / Rezhim dostupu: <https://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/rg/papers/brisk.pdf> - Nazva z yekranu.
7. Yaroviy A. A. Analiz metodiv ta modeley rozpiznavannya zobrazhen' distantsiynogo zonduvannya Zemli / Yaroviy A. A., Poperechniy S. V. : Zbirnik prats' X Mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferentsii [Internet-Osvita-Nauka (ION-2016)], (Vinnitsya, 11—14 zhovtnya 2016 r.) — Vinnitsya, VNTU, 2016. — s. 97—100.

Надійшла до редакції 14.10.2016 р.

**ЯРОВИЙ А. А.** — д.т.н., професор, професор кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

**ВАХОВСЬКА Л. М.** — асистент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

**ПОПЕРЕЧНИЙ С. В.** — магістрант кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.