

УДК 004

**О.Пойченко, магістр гр. КН-22МЗ***Центральноукраїнський національний технічний університет*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ГРАФІЧНИХ ОБРАЗІВ НА ЗНІМКАХ ІЗ СУПУТНИКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОГНІТИВНОЇ ГРАФІКИ

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи розпізнавання графічних образів на знімках із супутників з використанням когнітивної графіки. Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи розпізнавання графічних образів на знімках із супутників з використанням когнітивної графіки. Об'єктом дослідження є процес розпізнавання графічних образів на знімках із супутників з використанням когнітивної графіки. Предметом дослідження є методи розпізнавання графічних образів на знімках із супутників з використанням когнітивної графіки. Методи дослідження базуються на методах комп'ютерної графіки, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – програмна реалізація системи розпізнавання графічних образів на знімках із супутників з використанням когнітивної графіки. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

**Постановка проблеми.** Об'єктом додатка методів розпізнавання графічних образів і когнітивної графіки з'явилася перспективна система, орієнтована на обробку інформації із супутників. Перелічимо деякі завдання обробки космічної інформації:

- виявлення локальних об'єктів на аерокосмічних знімках;
- кластеризація й розпізнавання цільових об'єктів;
- визначення місця розташування об'єкта в заданій системі координат;
- стиск і відновлення графічної інформації;
- фільтрація;
- прогнозування даних телеметрії (тимчасових рядів);
- виявлення несправностей і позаштатних ситуацій.

Технологію первинної обробки інформації становлять хвильові алгоритми виділення об'єктів на знімках, методи видалення свідомо помилкових об'єктів і нормалізації претендентів на розпізнавання. Велике значення для якості роботи нейронних мереж має приведення графічних об'єктів до стандартного виду в змісті орієнтації й масштабу. Нейронні мережі використовуються в самому кінці технологічного ланцюжка, причому від якості передобробки й типу нейронної мережі значною мірою залежить результат розпізнавання. Це пов'язане з великою чутливістю нейронні мережі до наявності шумів, положенню й масштабу образів і т.д. Крім типових мереж можна формувати й спеціальні мережі. Результати роботи нейронних мереж (в основному використовувалися мережі прямого поширення, Хеммінга й Кохонена): приблизно 60%-80% правильного розпізнавання. Результат вдається трохи поліпшити за рахунок, застосування комітетів нейронні мережі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-10] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи розпізнавання графічних образів на знімках із супутників з використанням когнітивної графіки.

**Мета й завдання дослідження.** Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи розпізнавання графічних образів на знімках із супутників з використанням когнітивної графіки.

Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

- Огляд існуючих систем розпізнавання графічних образів на знімках із супутників з використанням когнітивної графіки.
- Дослідження системи розпізнавання графічних образів на знімках із супутників з використанням когнітивної графіки.
- Програмна реалізація системи розпізнавання графічних образів на знімках із супутників з використанням когнітивної графіки.

*Об'єктом дослідження* є процес розпізнавання графічних образів на знімках із супутників з використанням когнітивної графіки.

*Предметом дослідження* є методи розпізнавання графічних образів на знімках із супутників з використанням когнітивної графіки.

*Методи дослідження* базуються на методах комп'ютерної графіки, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

**Виклад основного матеріалу. Когнітивна графіка.** У цей час немає єдиних принципів когнітивного відображення інформації, але є розуміння того факту, що графічні образи здатні нести в собі в стислій і одночасно із цим доступну для користувача формі інформацію достатню для ухвалення адекватного рішення. Кожний образ створюється індивідуально з обліком конкретної прикладної області, вивчається в процесі життєвого циклу об'єкта й інтерпретується експертом з використанням накопичених знань. Багатомірні дані за допомогою ЕОМ можуть бути співвіднесені в когнітивний графічний образ у вигляді інтегральних функціональних профілів або сцен, що відбивають особливості стану об'єкта. Єдиний математичний апарат аналізу й загальні методи візуалізації багатомірних даних у цей час відсутні. Очевидно, мова може йти про інтеграцію й оптимізацію таких подань стосовно до конкретних прикладних областей.

Для побудови схеми рішення завдання розпізнавання образів зручно користуватися засобами графічного інтерфейсу, які дозволяють не тільки формувати алгоритм обробки даних підключенням відповідних виконавчих модулів, але й відслідковувати порядок рішення в динаміку шляхом колірної підсвічування відповідних зв'язків.

Для контролю настроювання нейронні мережі з невеликим числом нейронів застосовується спеціальний графічний динамічний образ. Таке подання дозволяє бачити стан мережі, знаки коефіцієнтів (синій і червоний кольори) і величини вагових коефіцієнтів, шляхом їхнього відображення відтінками синього й червоного кольору.

#### **Космічна зйомка**

Космічний знімок по своїх геометричних властивостях принципово не відрізняється від аерофотознімка, але має особливості, пов'язані з:

- фотографуванням з більших висот;
- великою швидкістю руху.

Так як супутник у порівнянні з літаком рухається значно швидше, те вимагає коротких витримок при зйомці.

Космічна зйомка розрізняється по:

- масштабам;
- просторовому дозволу;
- оглядовості;
- спектральним характеристикам.

Ці параметри визначають можливості дешифрування на космічних знімках різних об'єктів і рішення тих геологічних завдань, які доцільно вирішувати з їхньою допомогою.

Типи знімків підрозділяються по оглядовості, по масштабі, по просторовому дозволі.

Масштаб і оглядовість (форма, розмір) космічних знімків дозволяють виявити об'єкти різного рангу, зняті в один час і в одному режимі зйомки.

Оглядовість знімка залежить від розмірів ділянок земної поверхні, відображеної на космознімку, і вимірюється в одиницях площі.

Найпоширеніший розмір кадру космічного знімка 18x18 см дозволяє бачити все зображення одночасно, не “переводячи погляд”, без послідовного огляду.

При збільшенні масштабу знімка проєкційним шляхом оглядовість знімка зберігається, а рівень генералізації знижується.

По оглядовості (охвату території одним знімком) знімки розділяють:

1. Глобальні, що охоплюють всю планету. Ширина зони охопту більше 10 тис. км, а територіальний охват становить сотні мільйонів квадратних кілометрів.

2. Крупнорегіональні, що відображають материки, їхні частини й великі регіони, – знімки з метеорологічних супутників на навколосемних орбітах, а також знімки малого й середнього дозволу з ресурсних супутників. Ширина зони охопту варіює від 3 тис. км у знімків малого дозволу до 500 км у знімків середнього дозволу, територіальний охват становить мільйони квадратних кілометрів. На одному знімку цього типу зобразиться Західна Європа, майже вся Австралія, Середня Азія, Тибет.

3. Регіональні, на яких зображуються регіони і їхня частини, – це знімки з ресурсних і картографічних супутників, а також з пілотованих кораблів і орбітальних станцій. Найбільш характерний охват 350 x 350 км<sup>2</sup>, 180 x 180 км<sup>2</sup>, 60 x 60 км<sup>2</sup>. На знімку подібного охопту зобразиться така держава, як Бельгія, невелика область, наприклад Київська, великі мегаполіси.

4. Локальні, на яких зображуються відносно невеликі ділянки місцевості, – знімки із супутників для детального спостереження й великомасштабного топографічного картографування з охоптом порядку 10 x 10 км<sup>2</sup>. На такому знімку зобразиться промисловий комплекс, велике господарство, невелике місто, а для Києва буде потрібно кілька знімків.

Масштаби космознімків різні: від 1:1000 до 100 000 000, тобто він може мінятися в сто тисяч разів. Найпоширеніші масштаби космічних знімків: від 1:200 000 до 1:10 000 000.

Масштаби космознімків залежать від:

- висоти фотографування;
- фокусної відстані апарата;
- коефіцієнта збільшення;
- кутів нахилу;
- кривизни земної поверхні.

Просторовий дозвіл (або дозвіл на місцевості) визначається розміром найменшого об'єкта ( $\Delta$ ), відтвореного на знімку, і визначається по формулі:

$$\Delta = m/2N$$

де:

$m$  – масштаб знімка;

$N$  – розв'язна здатність знімка, тобто число роздільно фотографічно відтворених чорно-білих штрихів на відрізку довжиною 1 мм.

Розпізнавання об'єктів на знімках залежить від масштабу зйомки й розв'язної здатності. По співвідношенню масштабного ряду космічних знімків з масштабним рядом геологічних карт, прийнятих в Україні, космічні знімки розділяються по рівнях природної генералізації на:

- глобальні;
- континентальні;
- регіональні;
- локальні;
- детальні.

Для скануючих систем дозволу по маршруті й уздовж рядка (краю знімка) відрізняються й можуть змінюватися в кілька разів залежності від кута сканування, тому при

дешифруванні використовують тільки центральну (робочу) смугу. У деяких випадках при збільшенні знімків до мінімального дозволу (до 5 ліній на 1 мм) вони можуть охоплювати кілька рівнів розпізнавання (генералізації).

#### **Знімки глобального рівня**

Космічні знімки глобального рівня генералізації одержують із висот 20 – 30 тис. км.:

- з міжпланетних автоматичних станцій;
- високоорбітальних ШСЗ (“Блискавка” і ін.)

Масштаб ряду карт: 1:5 000 000.

Космічні знімки глобального рівня генералізації охоплюють всю або більшу частину півкулі. Вони дозволяють:

- виявляти найбільш протяжні глибинні розлами й зони розламів;
- гігантські кільцеві структури;
- з'ясувати характер зчленування великих структурних елементів земної кори;
- зв'язок поверхневої геології із глибинною будовою літосфери.

Розробки НАСА космічної системи глобального моніторингу ЕО призначені для комплексного планетарного дистанційного вивчення Землі як єдиної системи (хімічний склад атмосфери, рух хвиль цунамі в океані й т.д.).

Передбачається робота декількох ШСЗ, що передають інформацію кожні 10 хв. у реальному масштабі часу.

#### **Знімки континентального рівня**

Космічні знімки континентального рівня генералізації мають малий дозвіл. Їх одержують телевізійними скануючими системами з ШСЗ “Метеор” і ін. Космічні знімки цього рівня генералізації дозволяють:

- установлювати структурно-геологічні особливості великих областей земної кулі;
- виділяти матеріально-структурні комплекси гірських порід;
- глибинні розлами;
- проводити або уточнювати тектонічне районування.

Масштаб ряду карт: 1:5 000 000.

#### **Знімки регіонального рівня**

Космічні знімки регіонального рівня генералізації відрізняються середнім дозволом. Їх одержують фотографічними й скануючими системами з ресурсних ШСЗ “Метеор”, “Лендсат”, а також з пілотованих космічних кораблів і довгострокових орбітальних станцій.

Масштаб ряду карт: 1:1 000 000 і 1:500 000.

#### **Знімки локального рівня**

Космічні знімки локального рівня генералізації одержують фотографічними системами з пілотованих космічних кораблів довгострокових орбітальних станцій за допомогою високоякісної апаратури типу МКФ-6 і з ресурсного ШСЗ “Лендсат”.

Знімки локального рівня генералізації дозволяють:

- істотно уточнити геологічну структуру різних регіонів;
- представляють основний матеріал для геологічного картування в масштабах 1:500 000 і 1:1 000 000;

– для складання спеціалізованих тематичних карт геологічного змісту, у тому числі прогнозно-мінералогічних.

Ця зйомка використовує цифрові сканери, що дають високе тривимірне зображення. Одержувані знімки придатні для кадастру й інвентаризації, для виготовлення середньомасштабних і великомасштабних карт.

Масштаб ряду карт: 1:200 000 і 1:100 000.

#### **Знімки детального рівня**

Космічні знімки детального рівня генералізації масштабу 1:100 000 і крупніше по своїх властивостях близькі до висотних аерофотознімкам і знімкам дрібного масштабу. Одержують знімки при фотографуванні високоякісними довгофокусними знімальними

камерами з орбіт висотою близько 200 км. Космічні знімки детального рівня генералізації використовують (як і аерофотоматеріали) при космофотогеологічних дослідженнях.

Масштаб ряду карт: 1:50 000 і 1:25 000.

Всі аерокосмічні знімки діляться на:

- аналогові (звичайно фотографічні);
- цифрові (електронні).

### **Цифрові знімки**

Зображення цифрових знімків утворено з окремих однакових елементів – пікселів. Яскравість кожного пікселя характеризується одним числом. Аерокосмічний знімок складається з мільйонів пікселів.

Технологічні способи одержання знімків різні.

### **Комплекс обробки інформації детального дозволу**

За матеріалами космічної зйомки детального дозволу розробляються:

1. Цифрові культурозображення районів земної поверхні з лінійним дозволом 1 м і 2 м.
2. Цифрові моделі рельєфу
3. Ортотрансформовані цифрові зображення (фотоплани).
4. Топографічні карти різних масштабів.
5. Спеціальні й тематичні карти різних масштабів.
6. Векторні геоінформаційні шари (використовуються при створенні спеціальних геоінформаційних систем).
7. Тематично оброблені матеріали (оцінка екологічної обстановки, обстановки в районах екологічних і техногенних катастроф, урожайності сільськогосподарських, стану лісів і т.д.)

### **Комплекс тематичної обробки**

Тематична обробка космічної інформації дозволяє оцінювати стан навколишнього середовища й природних об'єктів. Багатофункціональний комплекс тематичної обробки дозволяє проводити комплексну обробку даних від різних систем.

Особливості зображення на космічних знімках залежать від впливу факторів: технічних і природних (природних).

Технічні фактори, що впливають на інформативність космічних знімків, є:

- а) параметри польоту (траєкторія, висота, тип орбіти, швидкість руху);
- б) характеристики космічних знімальних систем (фокусна відстань апарата, спектральний діапазон, що дозволяє здатність знімальних систем;
- в) способи обробки матеріалів.

Природні (природні) фактори – електромагнітний спектр Сонця, стан атмосфери, сезон зйомки, ландшафтно-кліматичні особливості території зйомки.

### **Що таке класифікація зображень, які моделі використовуються**

Можливо, ви вже знайомі з класифікацією зображень, переглянувши численні посібники з класифікації зображень котів проти собак в Інтернеті. Таким чином, класифікація зображень полягає в присвоєнні однієї (або кількох) міток всьому зображенню. Однак зауважте, що термін «класифікація» може означати різні речі для різних людей – зокрема, у багатьох статтях класифікація може використовуватися для опису міток рівня пікселів або кластерів пікселів, що я б назвав семантичною сегментацією. Щоб було зрозуміло, у цій публікації ми обговорюємо окремі мітки, застосовані до окремих зображень, використовуючи нейронні мережі глибокого навчання для створення міток. У застосуванні до супутникових зображень класифікація однієї мітки має два типових застосування:

1. позначити домінуючий предмет зображення, наприклад, поле для гольфу, гавань.
2. виконати двійкове виявлення деякого об'єкта, наприклад, корабель присутній чи ні.

Існують також більш просунуті методи класифікації, наприклад, використання часових рядів зображень для класифікації культур, де унікальні сезонні зміни є сильним показником типу культури.

## **Набори даних класифікації зображень**

Щоб краще ознайомитися з класифікацією супутникових зображень, я рекомендую вивчити кілька контрольних наборів даних. Еталонний набір даних – це набір даних, який використовується спільнотою як стандарт для порівняння ефективності різних методів. Двома хорошими еталонними наборами даних є набір даних UC Merced (зразок якого показано нижче) або набір даних EuroSAT. Обидва ці набори даних доступні у стандартному форматі RGB/single label, а також у більш цікавих версіях із кількома класами. Ці та інші набори даних див. у моєму репозиторії наборів даних,

### **Вибір і навчання моделей**

Розділ «Класифікація» в моєму сховищі містить багато різних ресурсів, які демонструють навчання моделей класифікації на супутникових зображеннях. Насправді відносно рідко можна навчити модель з нуля на власному наборі даних, і набагато частіше використовувати модель, яка була попередньо навчена на еталонному наборі даних (зазвичай ImageNet), а потім точно налаштувати цю модель на власному наборі даних. Щоб дізнатися більше про тонке налаштування, я рекомендую ознайомитися з уроком тонкого налаштування на d2l.ai. Під час тонкого налаштування шари вилучення функцій зависають, і оновлюються лише повністю підключені шари класифікації:

В Інтернеті регулярно повідомляють про нові «сучасні» моделі, які покращують продуктивність того чи іншого еталонного набору даних, і було б розумно припустити, що найновіші та найкращі моделі зазвичай використовуються в програмах. Однак для доступної статті про порівняння моделей я настійно рекомендую прочитати найкращі моделі зору для тонкого налаштування Джеремі Говарда. У цій статті Джеремі порівнює 86 моделей на двох контрольних наборах даних; набір даних IT Pet і набір даних Kaggle Planet (набір даних дистанційного зондування).

Цікаво, що найкращі результати відрізняються між наборами даних Pets і Planet, і Джеремі пояснює це тим, що набір даних Planet не схожий на зображення в наборі даних ImageNet (на якому більшість моделей попередньо навчаються), тому моделі, які вивчають нові функції найшвидші – найкращі виконавці. Він також зазначає, що «існує незначна кореляція між розміром моделі та продуктивністю» в наборі даних Planet, і тому радить вибирати менші моделі (які також будуть швидшими у використанні). Додатковою перевагою вибору маленької моделі є те, що темп експериментів є швидшим. Для мене дивовижним результатом набору даних Planet є те, що відносно стара (опублікована в 2015 році) модель Resnet 18 входить до 10 найефективніших. Як каже Джеремі, «Resnet 18 має дуже низьке використання пам'яті, він швидкий і все ще досить точний», і з цих причин я пропоную, що це хороша модель за замовчуванням для початку проєктів.

### **Як підійти до свого класифікаційного проєкту**

Можливо, у вас уже є варіант використання класифікації з вашої повсякденної роботи, але якщо ні, я пропоную вибрати тему, яка вас цікавить (наприклад, вирубка лісів, класифікація культур) і знайти відповідний набір даних на Kaggle, центрі даних Roboflow або в моєму репозиторії. Існують також регулярні змагання, що проводяться організаціями, зокрема ESA та Radiant Earth Foundation, і вони зазвичай забезпечують набір даних і захоплюючий виклик. Почніть із виконання посібника з точного налаштування моделі бачення (наприклад, уроку з тонкого налаштування на d2l.ai), а потім адаптуйте його для використання вибраного набору даних. Ймовірно, ви зіткнетесь з деякими труднощами, просто перемикаючи один набір даних, наприклад робота із зображеннями різного розміру або кількістю каналів. Якщо ви не особливо знайомі з геопросторовими зображеннями (geotiffs), я рекомендую дотримуватися наборів даних, де зображення є просто png або jpg. Якщо ви хочете працювати з геопросторовими зображеннями, вам, ймовірно, доведеться «розщеплювати» великі зображення на менші навчальні мікросхеми.

Після того, як ви зібрали свій набір даних, вам, ймовірно, доведеться змінити навчальний код моделі для завантаження та попередньої обробки набору даних, і це гарна нагода потренувати свої навички програмування на Python і ознайомитися з обраною вами

структурою глибокого навчання (Tensorflow або Pytorch). Зверніть увагу, що доступ до набору даних UC Merced & EuroSAT можна отримати через центр даних Tensorflow, що спрощує процес використання цього набору даних. Користувачі Pytorch захочуть отримати доступ до цих наборів даних через torchgeo, а також отримають переваги від багатьох додаткових функцій, які спрощують роботу з наборами геопросторових даних.

Переходячи до тонкого налаштування моделі, почніть експериментувати, щоб побачити, які фактори покращують або погіршують продуктивність моделі. Ви побачите, що параметри розширення даних і навчання, такі як розмір партії та кількість епох, матимуть значний вплив на продуктивність моделей. Як загальне керівництво, точність класифікації, якої ви можете досягти, приблизно залежить від трьох факторів:

1. Якість вхідних зображень; включаючи відповідну попередню обробку зображень, просторову та радіометричну роздільну здатність зображень
2. Якість, кількість і баланс навчального набору даних і міток
3. Вибір і налагодження моделі глибинного навчання

Продовжуйте повторювати ці параметри, доки не відчуєте впевненість у точному налаштуванні моделі на опублікованому наборі даних. Далі ви можете перейти до створення власного набору даних, а набір даних класифікації можна створити, завантаживши зображення з Google Планета Земля за допомогою одного зі сценаріїв. Якщо ви не впевнені, який інструмент використовувати, пропоную спочатку перевірити Map Tiles Downloader, який надає корисний інтерфейс [3]. Щоб підготувати набір даних для навчання, потрібно буде відсортувати зображення за папками, де ім'я папки є міткою, яка використовуватиметься для цього класу. На щастя, це можна зробити, використовуючи лише файловий браузер на вашому комп'ютері, і не потрібне спеціальне програмне забезпечення для «анотацій». Якщо вас цікавить інструмент для кращого розуміння та обробки даних класифікації, я рекомендую Roboflow, Ви також можете використовувати Roboflow, щоб отримати API розміщеної моделі після навчання вашої спеціальної моделі.

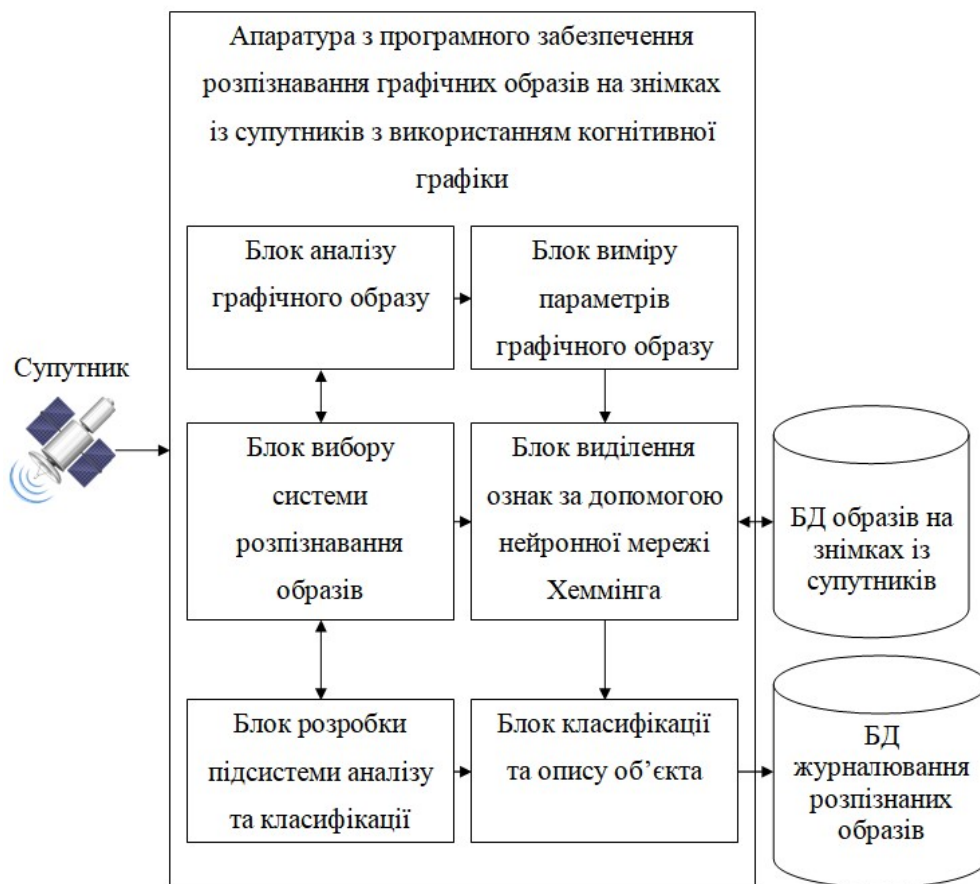


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Якщо ви хочете вивести свій проект на наступний рівень, подумайте про створення веб-програми або API, щоб забезпечити живий сервіс, який можна використовувати для демонстрації моделі. Зауважте, що якщо ви хочете розгорнути готову службу для виробництва, може знадобитися значна кількість інженерних робіт для обробки попередньої обробки завантажених зображень, наприклад для обробки кількох типів зображень, виявлення проблем із якістю тощо.

### **Розробка структурної схеми**

Програмне забезпечення розпізнавання графічних образів на знімках із супутників з використанням когнітивної графіки, побудовано на базі нейронної мережі Хеммінга.

Структурна схема системи наведена на рисунку 1. Структурно система складається з наступних частин:

1. База даних журналювання розпізнаних образів. У цю баз даних заносяться усі дані, які відносяться до розпізнаних об'єктів.

2. База даних образів на знімках із супутників. У цій базі даних зберігаються фотографії усіх об'єктів, з виділенням характерних точок, для кожного образу на знімках із супутників, за якими можливо ідентифікувати об'єкт.

3. Камера на супутнику, з якої поступає інформація систему розпізнавання образів.

4. Система розпізнавання образів, яка складається з наступних блоків:

– Блок читання картинки з камери на супутнику. Він призначений для читання картинок з камери на супутнику й подання даних на блок аналізу та виділення ознак за допомогою нейронної мережі Хеммінга.

– Блок аналізу та виділення ознак за допомогою нейронної мережі Хеммінга. Він є основою системи, й за допомогою нижчеописаного алгоритму проводить розпізнавання осіб, та машин, які перетнули межу території установи.

– Блок класифікації та опису об'єкта. Він дозволяє, виходячи з даних, отриманих від блоку аналізу та виділення ознак за допомогою нейронної мережі Хеммінга, розподілити куди заносити отримані дані, у поля бази даних, які відповідають за осіб, або у поля бази даних, які відповідають за машини.

**Висновки.** У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів розпізнавання графічних образів на знімках із супутників з використанням когнітивної графіки. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач: Був проведений огляд існуючих систем розпізнавання графічних образів на знімках із супутників з використанням когнітивної графіки; Досліджена система розпізнавання графічних образів на знімках із супутників з використанням когнітивної графіки; На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи розпізнавання графічних образів на знімках із супутників з використанням когнітивної графіки. Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання розпізнавання графічних образів на знімках із супутників з використанням когнітивної графіки. Проведено аналіз предметної галузі в ході якого були виявлені об'єкти, взаємодія яких носить істотний характер для функціональної діяльності предметної галузі, і їхні основні характеристики; побудована алгоритм і вибраний середовище розробки.

### **Список літератури**

1. Smirnov O., Smirnova T., Anas M. Al-Oraiqat, Driev O., Polishchuk L., Sheroz Khan, Yassin M. Y. Hasan, Aladdein M. Amro, Hazim S. AlRawashdeh «Method for Determining Treated Metal Surface Quality Using Computer Vision Technology». Sensors (Basel, Switzerland) Volume 22, Issue 16, 6223, 2022.
2. Smirnov O., Kuznetsov A., Kryvinska N., Kiiian A., Kuznetsova K. «Full Non-Binary Constant-Weight Codes». SN Computer Science, Vol 2, 337, 2021. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00739-w>
3. Smirnov O., Kuznetsov A., Zhora V., Onikiychuk A., Pieshkova O. «Hiding Messages in Audio Files Using Direct Spread Spectrum». 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2021, Cracow, Poland, 22-25 September 2021. P.



414-418.

4. Smirnov O., Kuznetsov A., Lokotkova I., Kuznetsova T., Florov S., Lebid O. «Using Orthogonal Signals to Hide Information in Images». 4 IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT) - 2021, Lviv, Ukraine, September 21-25, 2021. P. 255-260.
5. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Potii, O., Poluyanenko, N., Stelnyk, I., Mialkovsky, D. «Combining and filtering functions in the framework of nonlinear-feedback shift register». International Journal of Computing; 2020, Volume 19, Issue 2 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2020. – P. 247-256.
6. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
7. Smirnov O., Alimseitova Zh., Adranova A., Akhmetov B., Lakhno V., Zhilkishbayeva G. «Models and algorithms for ensuring functional stability and cybersecurity of virtual cloud resources». Journal of theoretical and applied information technology Vol.98. No 21, 2020, P. 3334-3346.
8. Smirnov O., Kuznetsov A., Kovalchuk D., Kuznetsova T. «New technique for data hiding in cover images using adaptively generated pseudorandom sequences». CEUR Workshop Proceedings Volume 2654, 2020, Pages 1-14.
9. Smirnov O., Kuznetsov A., Onikiychuk A., Makushenko T., Anisimova O., Arischenko A. «Adaptive pseudorandom sequence generation for spread spectrum image steganography». 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 161-165.
10. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.
11. Smirnov O., Kuznetsov A., Pushkar'ov A., Serhiienko R., Babenko V., Kuznetsova T., «Representation of Cascade Codes in the Frequency Domain». In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 48. Springer, Cham. 2021. pp 557-587.
12. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Polishchuk, Y., Brzhanov, R., Aleksander, M. «Method of fractal traffic generation by a model of generator on the graph». CEUR Workshop Proceedings Volume 2616, 2020, Pages 366-379.
13. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», CEUR Workshop Proceedings Volume 2608, 2020, Pages 633-645.
14. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Gorbacheva, L., Babenko, V., «Hiding data in images using a pseudo-random sequence», CEUR Workshop Proceedings Volume 2608, 2020, Pages 646-660.
15. Zhurakovskiy, B., Tsopa, N., Batrak, Y., Odarchenko, R., Smirnova, T «Comparative analysis of modern formats of lossy audio compression». Workshop Proceedings, 2020, 2654, стр. 315-327.
16. Smirnov O. Kuznetsov A., Zaichenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete Signals with Special Correlation Properties». International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019. P.22-28.
17. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». International Journal of Computing; 2019, Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019. – P. 393-407.
18. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019 . P.517-522.
19. Smirnov, O., Krasnobayev, V., Yanko, A., Kuznetsova, T. «Methods of nulling numbers in the system of residual classes». CEUR Workshop Proceedings, Vol 2588, P. 90-106, 2019.
20. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Averchev, A., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., «Formation of Pseudorandom Sequences with Special Correlation Properties», 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT -2019/ Lviv, Ukraine, 2-6 July, 2019, P. 395-399.
21. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kavun, S., Babenko, B., Nakisko, O., Kuznetsova, K., «Malware Correlation Monitoring in Computer Networks of Promising Smart Grids», 2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS), Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 347-352.
22. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., Prokopovych-Tkachenko, D., «Discrete Signals with Special Correlation Properties», CEUR Workshop Proceedings Volume 2353, CEUR Workshop Proceedings 2019, Pages 618-629.