

УДК 004

Б.Федоров, магістр гр. КН-22М-1,*Центральноукраїнський національний технічний університет*

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ГРАФІЧНИХ ОБРАЗІВ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ХЕММІНГА

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи розпізнавання графічних образів за допомогою нейронної мережі Хеммінга. Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи розпізнавання графічних образів за допомогою нейронної мережі Хеммінга. Об'єктом дослідження є процес розпізнавання графічних образів за допомогою нейронної мережі Хеммінга. Предметом дослідження є методи розпізнавання графічних образів за допомогою нейронної мережі Хеммінга. Методи дослідження базуються на методах розпізнавання графічних образів, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – програмна реалізація системи розпізнавання графічних образів за допомогою нейронної мережі Хеммінга. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Постановка проблеми. Можливість автоматично знімати, обробляти, аналізувати та використовувати зображення та відеовміст сьогодні стає все більш важливою завдяки покращенню обчислювальної потужності, зростаючій кількості камер і швидкому зростанню використання мобільних пристроїв. Ми зосереджені на тому, щоб зробити комп'ютери інтелектуальнішими, щоб вони могли автоматично аналізувати та вивчати дані зображення, розпізнавати об'єкти та автоматично розуміти зміст зображення. Очікується, що ці технології значно зроблять наше життя багатшим, безпечнішим і зручнішим. Поле досліджень охоплює широкий спектр тем, пов'язаних із зображеннями. Обробка зображень включає методи покращення, відновлення, сегментації, стиснення та водяних знаків. Досконалішим прикладом є адаптивне масштабування зображення, яке інтелектуально забезпечує гарну якість перегляду для різних пристроїв відображення. Комп'ютерне бачення охоплює всі види аналізу візуального вмісту, наприклад, калібрування камери, тривимірне моделювання, автоматичну локалізацію та вивчення навколишнього середовища в стереобаченні, виявлення та розпізнавання осіб, об'єктів і подій у системах спостереження, а також відеоконтент аналіз та багато інших методів. Розпізнавання образів стосується методів автоматичної класифікації та кластеризації даних, які мають багато застосувань у комп'ютерному зорі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-20] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи розпізнавання графічних образів за допомогою нейронної мережі хеммінга.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи розпізнавання графічних образів за допомогою нейронної мережі Хеммінга.

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

- Огляд існуючих систем розпізнавання графічних образів за допомогою нейронної мережі Хеммінга.
- Дослідження системи розпізнавання графічних образів за допомогою нейронної мережі Хеммінга.

– Програмна реалізація системи розпізнавання графічних образів за допомогою нейронної мережі Хеммінга.

Об'єктом дослідження є процес розпізнавання графічних образів за допомогою нейронної мережі Хеммінга.

Предметом дослідження є методи розпізнавання графічних образів за допомогою нейронної мережі Хеммінга.

Методи дослідження базуються на методах розпізнавання графічних образів, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу. З точки зору машинного зору, розпізнавання зображень є нічим іншим, як ідентифікацією об'єкта на зображенні. Тут об'єктами на зображенні можуть бути конкретні дії, місця чи особи. Це розпізнавання може здійснюватися за допомогою програмного забезпечення або технології. Технологія може являти собою поєднання програмного забезпечення штучного інтелекту разом із камерою для досягнення розпізнавання зображень. Під капотом розпізнавання зображень базується на глибокому навчанні, зокрема на згорткових нейронних мережах, архітектурі нейронної мережі, яка емулює те, як зорова кора розбиває та аналізує дані зображення. Нейронна мережа згортки та нейронна мережа розпізнавання зображень є основним компонентом глибокого навчання для комп'ютерного зору. Він має багато застосувань, включаючи електронну комерцію, ігри, автомобільну промисловість, виробництво та освіту.

Що таке розпізнавання зображень

Для розпізнавання зображень використовується технологія штучного інтелекту. Він автоматично визначає об'єкти, людей, місця та дії на зображеннях. Розпізнавання зображень використовується для виконання таких завдань, як пошук вмісту в зображеннях, позначення зображень описовими тегами. Він також виконує роботи-керівники, автономні транспортні засоби та системи допомоги водієві. Розпізнавання зображень є природним для людей і тварин. Для комп'ютерів це надзвичайно складне завдання. За останні два десятиліття в галузі комп'ютерного бачення були розроблені інструменти та технології, які можуть впоратися з цим викликом. Глибока нейронна мережа є найефективнішим інструментом для розпізнавання зображень. Зокрема, згортка нейронної мережі. Convolution Neural Network – це архітектура, розроблена для ефективного розуміння зображень високої роздільної здатності. Він може співвідносити та розуміти велику кількість даних у зображеннях високої роздільної здатності.

Як працює розпізнавання зображень?

Коли людське око бачить зображення, воно інтерпретується мозком як набір сигналів. Це зберігається в пам'яті, пов'язаної з об'єктами та поняттями, оскільки результатом є досвід сцени. Розпізнавання зображень імітує цей процес. У процесі розпізнавання зображень за допомогою нейронної мережі вона зображує фізичні об'єкти та особливості у векторному кодуванні зображення. Він перетворюється на конструкції, які можуть логічно аналізувати системи комп'ютерного зору. Спочатку він спрощує зображення та виділяє найважливішу інформацію. Потім упорядкуйте дані за допомогою виділення ознак і класифікації. Нарешті, використання алгоритмів класифікації для визначення зображення в системах комп'ютерного зору.

Алгоритми розпізнавання зображень

Класифікатор зображень є одним із типів алгоритмів розпізнавання зображень. Він вибирає зображення як вхідні дані та передбачає вміст зображення. Клас позначає тип вихідних даних класу, наприклад класифікацію об'єкта на зображенні, чи є він живою чи неживою істотою. Для цього потрібно навчити алгоритм. Навчання – це процес навчання. Він може розрізняти класи. Наприклад, для алгоритму класифікації ми повинні навчити нейронну мережу з тисячами зображень живих і неживих істот. Алгоритм навчиться виділяти ознаки, які ідентифікують об'єкт живих істот, і класифікувати зображення, які також містять неживі об'єкти. Тут можна використовувати інші алгоритми для виконання більш складних дій

Етапи попередньої обробки даних зображень для нейромереж

Розпізнавання зображень за допомогою алгоритмів нейронної мережі залежить від якості набору даних. Зображення, які використовуються для навчання та тестування моделі. Тут для підготовки даних зображення враховуються важливі параметри.

– Розмір зображення: основна мета зображення вищої якості – надати більше інформації моделі. Але в той же час для обробки потрібно більше вузлів нейронної мережі та більше обчислювальної потужності.

– Кількість зображень: для точнішого результату ми повинні передати більше даних моделі. Це гарантує, що навчальний набір представляє реальну популяцію.

– Кількість каналів: кольорові зображення зазвичай мають 3 кольорові канали, тобто червоний, зелений, синій з кольорами, представленими в діапазоні [0,255]. Подібним чином зображення у градаціях сірого має 2 канали, тобто чорно-білий

– Співвідношення сторін: оскільки нейронна мережа припускає квадратну форму вхідного зображення. Тому розмір і співвідношення сторін зображення мають бути однаковими.

– Масштабування зображення: коли всі зображення розведено в квадрат, ви можете масштабувати кожне зображення. Існують різні бібліотечні функції глибокого навчання, такі як методи збільшення та зменшення масштабу.

– Середнє, стандартне відхилення вхідних даних: ви можете переглянути «середнє зображення», обчисливши середні значення для кожного пікселя в усіх навчальних прикладах, щоб отримати інформацію про структуру, що лежить в основі зображень.

– Нормалізація вхідних даних зображення: гарантує, що всі вхідні параметри (у цьому випадку пікселі) мають рівномірний розподіл даних.

– Зменшення розмірності: ви можете вирішити згорнути канали RGB у канал відтінків сірого.

– Збільшення даних: передбачає розширення існуючого набору даних зі збуреними типами поточних зображень, включаючи масштабування та обертання.

Створення прогнозувальної моделі для зображень за допомогою нейромереж

Після навчання зображень нам потрібна система, яка може їх обробляти та використовувати для прогнозування нових, невідомих зображень. Ця система є штучною нейронною мережею. Розпізнавання зображень за допомогою алгоритмів нейронної мережі може класифікувати будь-що. Він також може класифікувати текст, зображення, аудіофайли та відео. Перцептрон – це не що інше, як взаємопов'язана сукупність вузлів нейронної мережі. Кожен нейрон бере одну хвилину вибірки вхідних даних, тобто один піксель зображення. Потім він застосовується до функції активації для генерації результату. Функція активації – це просте обчислення. Кожен нейрон має числову вагу, яка впливає на його результат. Потім цей результат передається до додаткових нейронних рівнів, доки наприкінці процесу нейронна мережа не створить прогноз для кожного входу або пікселя. Рис. 3'єднання з перцептроном У цьому процесі повторень мережа вивчає найбільш відповідні ваги для кожного нейрона для великої кількості зображень, що призводить до точних прогнозів у процесі, який називається зворотним поширенням. Коли модель навчена, її застосовують до нового набору зображень, які не брали участь у навчанні, щоб перевірити її точність. Модель можна використовувати для класифікації зображень реального світу після деякого налаштування.

Обмеження звичайних нейромереж для розпізнавання зображень

Традиційні нейронні мережі використовують повну зв'язану архітектуру. Кожен нейрон одного шару з'єднаний з усіма нейронами наступного шару. Для обробки даних зображення архітектура нейронної мережі неефективна.

– Переобладнання є ще одним обмеженням традиційної нейронної мережі, оскільки для середнього зображення із сотнями пікселів і трьома каналами воно генеруватиме мільйони параметрів.

– Модель нейронної мережі потребуватиме великих обчислень.

– Поліпшити його продуктивність на основі інтерпретації результатів може бути важко.

Програми розпізнавання зображень

Реалізації розпізнавання зображень за допомогою нейронних мереж вимагають безпеки та спостереження. Він включає великі бази даних для розпізнавання обличчя, розпізнавання об'єктів, аналізу медичних зображень, візуальної геолокації, допомоги водієві, розпізнавання жестів і тегування зображень. Це також корисно для веб-сайтів організацій. Розпізнавання зображень увійшло в мейнстрім. У розробці Facebook, Google і багатьох інших популярних споживчих додатків використовуються для розпізнавання облич, фотографій і відео кадрів. З'явилися набори інструментів і хмарні сервіси. Це може допомогти невеликим гравцям інтегрувати розпізнавання зображень у свої веб-сайти. Існують різні сфери застосування розпізнавання зображень нейронної мережі, такі як виробництво, індустрія електронної комерції, освіта, ігрова індустрія, автомобільна промисловість. Розпізнавання зображень використовується для автоматичної обробки, класифікації та позначення зображень продуктів, а також для активації потужного пошуку зображень. Наприклад, споживачі можуть шукати крісло з певним підлокітником і отримувати відповідні результати. Розпізнавання зображень можна використовувати для транспонування цифрового шару поверх зображень із реального світу. Доповнена реальність додає деталі до існуючого середовища. Pokémon Go – це популярна гра, яка базується на технології розпізнавання зображень. Автономні транспортні засоби знаходяться на стадії тестування в Сполучених Штатах і використовуються для громадського транспорту в багатьох містах Європи. Щоб полегшити автономне водіння, розпізнавання зображень навчається ідентифікувати об'єкти на дорозі, включаючи рухомі об'єкти, транспортні засоби, людей і шляхи, а також розпізнавати світлофори та дорожні знаки. Розпізнавання зображень використовується на різних етапах виробничого циклу. Він використовується для зменшення кількості дефектів у процесі виробництва, наприклад, шляхом зберігання зображень компонентів із відповідними метаданими та автоматичного визначення дефектів. Розпізнавання зображень може допомогти учням із труднощами в навчанні та вадами. Наприклад, програми, що працюють на основі комп'ютерного зору, забезпечують функції перетворення зображення в мову та тексту в мову, які можуть читати матеріали студентам з дислексією або порушенням зору.

Нещодавні досягнення в галузі штучного інтелекту та машинного навчання сприяли розвитку концепцій комп'ютерного зору та розпізнавання зображень. Від керування автомобілем без водія до визначення обличчя для біометричного доступу, розпізнавання зображень допомагає в обробці та категоризації об'єктів на основі навчених алгоритмів. Продовжуйте читати, щоб зрозуміти, що таке розпізнавання зображень і наскільки воно корисне в різних галузях.

Коли справа доходить до ідентифікації зображень, ми, люди, можемо чітко розпізнавати та розрізняти різні характеристики об'єктів. Це тому, що наш мозок несвідомо тренувався з тим самим набором образів, що призвело до розвитку здатності легко розрізняти речі.

Ми навряд чи свідомі, коли інтерпретуємо реальний світ. Зіткнутися з різними об'єктами візуального світу та з легкістю розрізнити їх не становить для нас труднощів. Наша підсвідомість без зайвих зусиль здійснює всі процеси.

На відміну від людського мозку, комп'ютер розглядає візуальні елементи як масив числових значень і шукає шаблони в цифровому зображенні, будь то фото, відео, графіка чи навіть живе, щоб розпізнавати та розрізняти ключові характеристики зображення. Спосіб, у який система інтерпретує зображення, повністю відрізняється від способу, у який система інтерпретує зображення. Комп'ютерне зір використовує алгоритми обробки зображень, щоб аналізувати та розуміти візуальні ефекти з одного зображення або послідовності зображень. Прикладом комп'ютерного зору є ідентифікація пішоходів і транспортних засобів на дорозі

за допомогою точної класифікації та фільтрації мільйонів зображень, завантажених користувачами.

Ринкові можливості та сфера комп'ютерного зору

З роками ринок комп'ютерного бачення значно виріс. На даний момент його вартість оцінюється в 11,94 мільярда доларів США та, ймовірно, досягне 17,38 мільярда доларів США до 2023 року при середньорічному темпі зростання 7,80% між 2018 і 2023 роками.

Це пов'язано зі збільшенням попиту на автономні та напівавтономні транспортні засоби, дрони (військового та побутового призначення), носимі пристрої та смартфони. Більше того, зростання впровадження Індустрії 4.0 та автоматизації у виробничих галузях ще більше стимулювало попит на комп'ютерне бачення.

Враховуючи зростаючий потенціал комп'ютерного зору, багато організацій інвестують у розпізнавання зображень для інтерпретації та аналізу даних, що надходять переважно з візуальних джерел, для цілого ряду застосувань, таких як аналіз медичних зображень, ідентифікація об'єктів в автономних автомобілях, розпізнавання облич для цілей безпеки тощо.

Завдяки останнім досягненням у машинному навчанні та збільшенню обчислювальної потужності машин розпізнавання зображень захопило світ штурмом.

Автомобільна промисловість, електронна комерція, роздрібна торгівля, обробна промисловість, безпека, відеоспостереження, охорона здоров'я, сільське господарство тощо можуть мати широке застосування розпізнавання зображень.

Як працює розпізнавання зображень?

Цифрове зображення являє собою матрицю числових значень. Ці значення представляють дані, пов'язані з пікселем зображення. Інтенсивність різних пікселів усереднюється до одного значення, що представляє себе у форматі матриці.

Інформація, яка надходить до систем розпізнавання, – це інтенсивність і розташування різних пікселів на зображенні. За допомогою цієї інформації системи вчаться відображати взаємозв'язок або шаблон у наступних зображеннях, які надаються їй у рамках процесу навчання.

Після завершення процесу навчання продуктивність системи на тестових даних перевіряється.

Щоб підвищити точність системи для розпізнавання зображень, переривчасті вагові коефіцієнти нейронних мереж змінено для підвищення точності систем.

Деякі з алгоритмів, які використовуються для розпізнавання зображень (розпізнавання об'єктів, розпізнавання облич), це SIFT (масштабно-інваріантне перетворення ознак), SURF (прискорені надійні функції), PCA (аналіз основних компонентів) і LDA (лінійний дискримінантний аналіз).

Роль згорткових нейронних мереж у розпізнаванні зображень

Згорткові нейронні мережі (CNN) відіграють вирішальну роль у вирішенні зазначених вище проблем. Його основні принципи черпали натхнення з нашої зорової кори.

CNN вносить зміни в режим роботи. На входи CNN не подаються повні числові значення зображення. Замість цього повне зображення ділиться на кілька невеликих наборів, кожен з яких виступає як зображення. Невеликий розмір фільтра ділить повне зображення на невеликі частини. Кожен набір нейронів підключений до невеликої ділянки зображення.

Потім ці зображення обробляються подібно до звичайного процесу нейронної мережі. Комп'ютер збирає візерунки щодо зображення, а результати зберігаються у форматі матриці.

Цей процес повторюється, доки системі не буде надіслано повне зображення в бітах. Результатом є велика матриця, що представляє різні шаблони, які система захопила із вхідного зображення.

Ця матриця знову знижується (зменшується розмір) за допомогою методу, відомого як Max-Pooling. Він витягує максимальні значення з кожної підматриці та створює матрицю набагато меншого розміру.

Ці значення представляють візерунок на зображенні. Ця сформована матриця надходить до нейронних мереж як вхід і вихід визначає ймовірність класів у зображенні.

Під час фази навчання різні рівні функцій визначаються та позначаються як низький, середній і високий. Функції низького рівня включають колір, лінії та контраст. Функції середнього рівня визначають краї та кути, тоді як функції високого рівня ідентифікують клас і конкретні форми чи секції.

Таким чином, CNN зменшує вимоги до обчислювальної потужності та дозволяє обробляти зображення великого розміру. Він чутливий до змін зображення, що може надавати результати з вищою точністю, ніж звичайні нейронні мережі.

Обмеження CNN

Завдяки складній архітектурі можна передбачити об'єкти, обличчя на зображенні з точністю 95%, що перевищує людські можливості, тобто 94%. Однак, навіть незважаючи на його видатні можливості, існують певні обмеження у його використанні. Набори даних із мільярдом параметрів вимагають високого обчислювального навантаження, використання пам'яті та високої потужності обробки. Використання яких потребує належного обґрунтування.

Використання розпізнавання зображень:

– Безпілотники: безпілотники, оснащені можливостями розпізнавання зображень, можуть забезпечувати автоматичний моніторинг, перевірку та контроль активів, розташованих у віддалених районах, на основі зору.

– Виробництво: перевірка виробничих ліній, регулярна оцінка критичних точок у приміщенні. Контроль якості кінцевої продукції для зменшення браку. Оцінка стану працівників може допомогти виробничим галузям мати повний контроль за різними видами діяльності в системах.

– Автономні транспортні засоби: автономні транспортні засоби з розпізнаванням зображень можуть ідентифікувати дії на дорозі та вживати необхідних заходів. Міні-роботи можуть допомогти галузям логістики знаходити та транспортувати об'єкти з одного місця в інше. Він також зберігає базу даних з історією переміщення продукту, щоб запобігти його втрати або крадіжці.

– Військове спостереження: виявлення незвичайних дій у прикордонних районах і можливості автоматичного прийняття рішень можуть допомогти запобігти проникненню та врятувати життя солдатів.

– Діяльність у лісі: безпілотні літальні апарати можуть стежити за лісом, прогнозувати зміни, які можуть призвести до лісових пожеж, і запобігати браконьєрству. Він також може забезпечити повний моніторинг величезних земель, до яких люди не мають легкого доступу.

Розробка структурної схеми

Як працює розпізнавання зображень?

Використання традиційного комп'ютерного зору

Звичайний підхід комп'ютерного бачення до розпізнавання зображень – це послідовність (конвеєр комп'ютерного бачення) фільтрації зображення, сегментації зображення, виділення ознак і класифікації на основі правил.

Однак розробка таких конвеєрів вимагає глибоких знань у обробці зображень і комп'ютерного бачення, багато часу на розробку та тестування з ручним налаштуванням параметрів. Загалом, традиційне комп'ютерне бачення та системи розпізнавання зображень на основі пікселів дуже обмежені, коли йдеться про масштабованість або можливість повторного використання їх у різних сценаріях/розташуваннях.

Використання машинного та глибокого навчання

Проте збалансувати продуктивність і ефективність обчислень досить складно. Апаратне та програмне забезпечення з моделями глибокого навчання мають бути ідеально узгоджені, щоб подолати проблеми з вартістю комп'ютерного зору.

Таким чином, можливість завжди використовувати найновіший алгоритм має прямі наслідки щодо витрат: найпотужніший і ефективний алгоритм потребує в рази дешевше обладнання або досягає в рази кращої продуктивності на еквівалентному обладнанні порівняно зі старими алгоритмами.

Платформа ШІ розпізнавання зображень

Якщо ви не хочете починати з нуля та використовувати попередньо налаштовану інфраструктуру, ви можете перевірити нашу платформу комп'ютерного зору Viso Suite. Корпоративний пакет надає популярне програмне забезпечення для розпізнавання зображень із відкритим вихідним кодом із понад 60 найкращих попередньо навчених моделей. Він також забезпечує збір даних, маркування зображень і розгортання на периферійних пристроях – усе готове та з можливостями без використання коду. Ця платформа AI Vision дозволяє створювати та працювати з програмами в режимі реального часу, використовувати нейронні мережі для завдань розпізнавання зображень та інтегрувати все з існуючими системами.

Приклади області застосування розпізнавання зображень

Розпізнавання зображень для спостереження за тваринами

Системи розпізнавання зображень сільськогосподарського машинного навчання використовують нові методи, навчені для визначення типу тварини та її дій. Програмне забезпечення для розпізнавання зображень штучного інтелекту використовується для моніторингу тварин у сільському господарстві, де худобу можна дистанційно контролювати для виявлення хвороб, виявлення аномалій, дотримання вказівок щодо добробуту тварин, промислової автоматизації тощо.

Виявлення шаблонів і об'єктів

Технології штучного інтелекту розпізнавання фотографій і розпізнавання відео корисні для ідентифікації людей, візерунків, логотипів, об'єктів, місць, кольорів і форм. Можливість налаштування розпізнавання зображень дозволяє використовувати його в поєднанні з кількома програмами. Наприклад, після того як програма розпізнавання зображень спеціалізується на виявленні людей у відеокадрі, її можна використовувати для підрахунку людей, популярної програми комп'ютерного зору в роздрібних магазинах.

Розпізнавання пошуку зображень

Типові програми розпізнавання зображень:

- Застосування №1: промислове розпізнавання зображень для виявлення дефектів і прогнозного аналізу на виробництві.
- Застосування №2: Автоматизоване виявлення вторгнень у розподілених системах безпеки та спостереження.
- Застосування №3: Системи розпізнавання зображень для аналізу корозії та виявлення витоків у нафті та газу.
- Застосування №4: програмне забезпечення для розпізнавання фотографій для виявлення шахрайства у сфері страхування.
- Застосування №5: підрахунок людей і аналіз натовпу в реальному часі в розумних містах.
- Застосування №6: Програма розпізнавання зображень для виявлення зброї (ножі, пістолети).

Структурна схема системи наведена на рисунку 1.

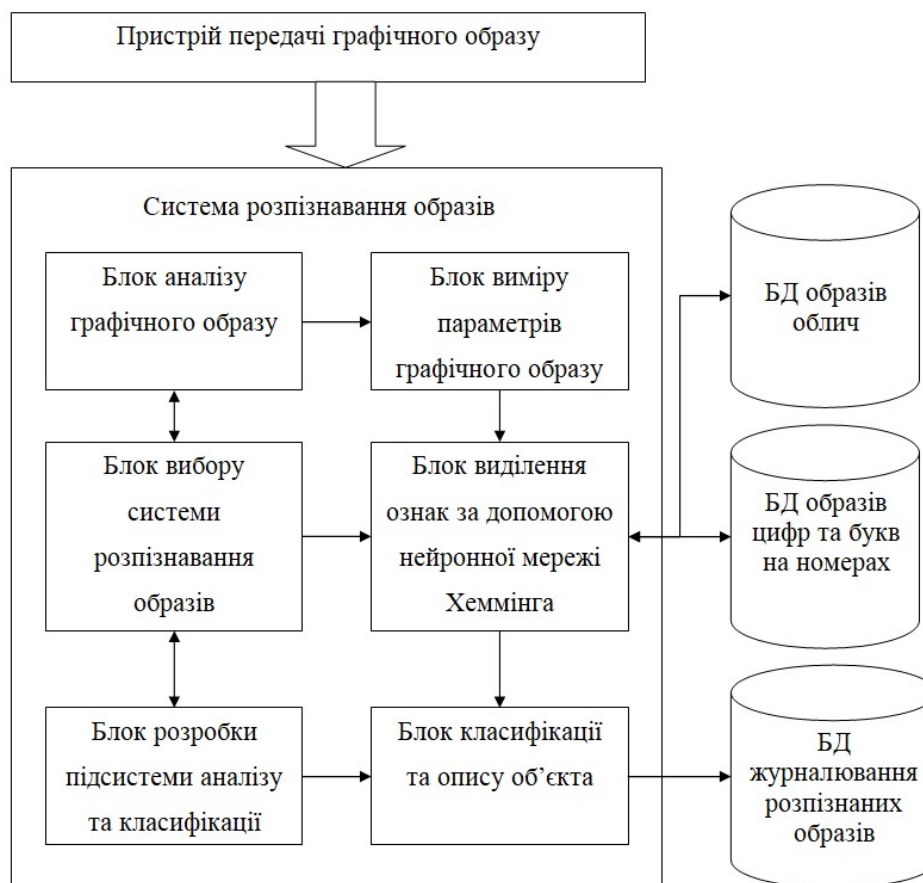


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів розпізнавання графічних образів за допомогою нейронної мережі Хеммінга. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач: Був проведений огляд існуючих систем розпізнавання графічних образів за допомогою нейронної мережі Хеммінга; Досліджена система розпізнавання графічних образів за допомогою нейронної мережі Хеммінга; На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи розпізнавання графічних образів за допомогою нейронної мережі Хеммінга. Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання розпізнавання графічних образів за допомогою нейронної мережі Хеммінга. 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., Odarchenko, R., Smirnova, T., Bondar, S., Volosheniuk, D. «Optimal Structure Construction of Private 5G Network for the Needs of Enterprises». Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 2023, 178, pp. 208–223.
2. Smirnov, O., Neskoriadiya, T., Fedorov, E., Rudakov, K., Neskoriadiya, A. «Method Detection Audit Data Anomalies on Basis Restricted Cauchy Machine» CEUR Workshop Proceedings, Volume 3187, 2022,
3. Smirnov O., Smirnova T., Anas M. Al-Oraiqat, Drieiev 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.
4. Smirnov O., Kuznetsov A., Kryvinska N., Kiian 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>
5. 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.
6. 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.
 7. 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.
 8. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
 9. 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.
 10. 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.
 11. О. Смірнов, Є. Деменко, О. Онікійчук, А. Арищенко, Л. Горбачова, «Формування псевдовипадкових послідовностей для приховування даних в зображеннях» Комп'ютерні науки та кібербезпека. № 4. С. 30-37. 2019.
 12. Смірнов О.А., Конопліцька-Слободенюк О.К., Смірнов С.А., Буравченко К.О., Смірнова Т.В. Поліщук Л.І. Проектування комп'ютерних систем та мереж. Навчальний посібник – Кропивницький: вид. Лисенко В.Ф. 2019. – 264 с.
 13. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kuznetsova, K. Synthesis of Discrete Signals with Improved Correlation Properties. Монографія: In.: ISCI'2019: Information Security in Critical Infrastructures. Collective monograph. Edited by Ivan D. Gorbenko and Alexandr A. Kuznetsov, ASC Academic Publishing, USA, 2019, pp. 281-299. – ISBN: 978-0-9989826-8-7 (Hardback), ISBN: 978-0-9989826-9-4 (Ebook).
 14. Смірнов О.А., Дреєва Г.М. Метод генерування фрактального трафіку за допомогою моделі генератора на графі. Монографія: Інформаційна безпека та інформаційні технології: монографія / за заг. ред. В. С. Пономаренка. – Х. : Вид. Рожко С.Г. 2019. С. 123-139
 15. Дреєва Г.М., Смірнов О.А., Дреєв О.М. Метод генерування фрактальноподібної числової послідовності на основі скінченного автомату для моделювання трафіку у мережі. Центральнотрапівський науковий вісник. Технічні науки. № 1(32). с. 173-183, 2019.
 16. Смірнов О.А., Кавун С.В., Коваленко О.В., Дреєв О.М. Мережні інформаційні технології. Навчальний посібник – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2016. – 159 с.
 17. Смірнов О.А., Смірнов С.А. Дідик А.К., Дреєв О.М. Моделі системи нейромережових експертів безпечної маршрутизації у хмарних антивірусних системах. Збірник наукових праць "Системи обробки інформації". - Випуск 3 (140). - Х.: ХУПС - 2016. - С. 36-39.
 18. Смірнов О.А., Кавун С.В., Коваленко О.В., Доренський О.П., Дреєв О.М., Вялкова В.І. Комп'ютерні мережі. Навчальний посібник – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2016. – 233 с.
 19. Смірнов О.А., Дреєв О.М. Порівняння бітових щільностей при використанні різних методів кодування інформації. Збірник наукових праць "Системи обробки інформації". - Випуск 2 (118). т.2. - Х.: ХУПС - 2014. - С. 64-67
 20. Смірнов О.А., Дреєв О.М. Порівняння бітових щільностей при використанні різних методів кодування інформації. Збірник тез VI міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми та перспективи розвитку IT-індустрії". м. Харків. 17-18 квітня 2014р. – Харків: ХНСУ. - 2014. - С. 240.
 21. Смірнов О.А., Коваленко О.В., Кожанова А.С., Лєвошко О.Л., Константинова Л.В. Основи системного програмування. Навчальний посібник. – Кіровоград: КНТУ 2013. – 257с.
 22. Смірнов О.А., Дреєв О.М., Доренський О.П. «Дослідження впливу ступеня стиснення зображень на оперативність їх доставки у телекомунікаційній системі. Збірник наукових праць "Системи обробки інформації". – Випуск 8(115). – Х.: ХУПС – 2013. – С. 234-239.
 23. Смірнов О.А., Доренський О.П., Дреєв О.М. Аналіз процесів стиснення та відновлення зображень на основі цифрових методів. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Випуск 3(12). – Х.: ХУПС. – 2013. – С.122-127.
 24. Смірнов О.А., Мелешко Є.В., Семенов С.Г. Методи та засоби обробки сигналів і даних в інформаційних системах. Навчальний посібник. – Кіровоград: КНТУ 2012. – 250 с.
 25. Смірнов О.А., Євсєєв С.П., Жукарев В.Ю., Король О.Г., Сорокін В.С., Мелешко Є.В. Технології і стандарти комп'ютерних мереж. – Кіровоград: КНТУ 2012. – 454 с