

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Центр післядипломної освіти _____
(повна назва)

Кафедра _____ Програмної інженерії _____
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА **Пояснювальна записка**

рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Дослідження методів та підходів до розпізнавання QR-кодів
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, групи ППЗМ-21-4
Рубльов А. Ю.
(прізвище, ініціали)

спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення
(код і повна назва спеціальності)

Освітньо-наукова програма
(тип програми)

Інженерія програмного забезпечення
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф каф. програмної інженерії Білоус Н.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри, проф. _____ З.В.Дудар

2023 р.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Центр післядипломної освітиКафедра Програмної інженерії

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 121 – Інженерія програмного забезпечення

(код і повна назва)

Тип програми освітньо- наукова програмаОсвітня програма Інженерія програмного забезпечення

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУстудентові _____ Рубльова Андрія Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження методів та підходів до розпізнавання QR-кодів
затверджена наказом університету від “ 24 ” березня 20 23 р. № 412 Ст

заповнюється вручну після отримання наказу

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 31 травня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи розпізнавання QR кодів, методи розпізнавання кодів,
методи _____ декодування _____ та _____ обробки
зображень _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі мета роботи, аналіз
проблемної галузі, постановка задачі, аналіз існуючих методів і алгоритмів

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка*
1.	Аналіз предметної галузі	15.02.2023	Виконано
2.	Огляд існуючих методів	12.03.2023	Виконано
3.	Методи та алгоритми тестування	09.04.2023	Виконано
4.	Підготовка пояснювальної записки	25.04.2023	Виконано
5.	Спецчастина	30.04.2023	Виконано
6.	Підготовка презентації та доповіді	03.05.2023	Виконано
7.	Попередній захист	09.05.2023	Виконано
8.	Нормоконтроль, рецензування	09.05.2023	Виконано
9.	Занесення диплома в електронний архів	09.05.2023	Виконано
10.	Допуск до захисту у зав. кафедри	11.05.2023	Виконано
* заповнюється вручну після виконання чергового пункту			

Дата видачі завдання 17 січня 2023 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. каф. ІІ Білоус Н. В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ / ABSTRACT

Кваліфікаційна робота магістра містить: 67 с., 20 рис., 1 таблицю, 29 джерел, 5 додатків.

РОЗПІЗНАВАННЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, МЕТОДИ, ПІДХОДИ, КОД, QR-КОД, РОЗПІЗНАВАННЯ QR-КОДУ.

Метою роботи є дослідження та аналіз методів розпізнавання QR-кодів.

В роботі розглядаються методи та підходи, що використовуються для розпізнавання QR-кодів.

В результаті роботи проведено дослідження підходів до розпізнавання QR-кодів.

RECOGNITION, RESEARCH, METHODS, APPROACHES, CODE, QR CODE, QR CODE RECOGNITION.

The purpose of the work is research and analysis of QR code recognition methods.

The work considers the methods and approaches used to recognize QR codes.

As a result of the work, a study of approaches to recognizing QR codes was carried out.

Я, Рубльов Андрій Юрійович, студент групи ІПЗм-21-4, здобувач вищої освіти на другому (магістерському) рівні, кафедра Програмної інженерії, заявляю: моя кваліфікаційна робота на тему «Дослідження методів та підходів до розпізнавання QR-кодів», що буде представлена до ЕК для публічного захисту, виконана самостійно, в ній не містяться елементи плагіату і вона може бути опублікована в електронному архіві відкритого доступу EIArKhNURE. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Я ознайомена з діючим положенням «Про протидію академічному плагіату в ХНУРЕ», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування дисциплінарних заходів.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМНОЇ ГАЛУЗІ	10
1.1 Огляд технології QR-кодів.....	10
1.2 Метод детектування об'єктів Віоли та Джонса	12
1.3 Види кодів.....	13
2 ІСНУЮЧІ МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ	15
2.1 Етапи детектування QR-кодів	15
2.2 Алгоритми детектування QR-кодів.....	17
2.3 Градієнтні ознаки Хаара.....	19
2.4 Вирішальне дерево сильних класифікаторів	20
3 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	21
4 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ПІДХОДІВ ДО РОЗПІЗНАВАННЯ QR КОДІВ	22
4.1 Методи та підходи до розпізнавання QR-кодів.....	22
4.1.1 Методи машинного навчання	24
4.1.2 Алгоритми комп'ютерного зору та обробки зображень.....	33
4.1.3 Геометрика для розпізнавання QR-кодів.....	36
4.2 Порівняння методів	38
4.3 Результати.....	44
4.4 Майбутні напрямки досліджень.....	46
5 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	48
5.1 Опис експерименту.....	48
5.2 Моделювання	48
5.3 Тестування.....	50
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ.....	54

ДОДАТОК А Результат перевірки на антиплагіат	58
ДОДАТОК Б Експертний висновок щодо нормоконтролю	59
ДОДАТОК В Перелік джерел посилання за науковими напрямками керівника та науковців кафедри програмної інженерії	60
ДОДАТОК Г Слайди презентації	61

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПЗ – програмне забезпечення

QR – quick response

CNN – convolutional neural network

RNN – recurrent neural network

SVM – support vector machine

ANN – artificial neural network

GPU – graphics processing unit

ML – machine learning

ReLu – rectified linear unit

ВСТУП

Останніми роками QR коди (коди швидкого реагування) набувають все більшої популярності як засіб обміну інформацією, оскільки вони забезпечують швидкий і зручний спосіб доступу до цифрового вмісту за допомогою смартфона чи іншого мобільного пристрою.

Напевно на сьогоднішній день не знайдеться жодного користувача інтернету, який не був би знайомий із QR-кодами. Ці двовимірні штрих-коди всюди. Закономірно, що у світі існує багато інструментів, що дозволяють з деякою часткою ефективності додати QR-коди у свій проект.

Однак, незважаючи на їхню популярність, з розпізнаванням QR-кодів все ще пов'язано багато проблем, включаючи варіації освітлення, перспективи та спотворення, через які їх важко точно прочитати.

Проблема у тому, що вище згадана ефективність безпосередньо залежить від якості інструменту, який використовується для розпізнавання QR-кодів [1]. І тут виникає класична проблема: можна вирішити завдання дуже добре і дуже дорого, а можна безкоштовно і з сумнівною якістю. А чи можна доопрацювати безкоштовне так, щоб вирішити завдання добре, це окреме питання.

Розпізнавання QR-коду на фотографії – це добре поставлене завдання машинного зору [2]. По-перше, у задачі досліджується об'єкт, спочатку спеціально розроблений для «зручного» розпізнавання. По-друге, саме завдання розбивається на кілька незалежних зрозумілих підзадач: локалізація QR-коду, орієнтація QR-коду та безпосередньо декодування QR-коду. Так виявилось, що суспільне надбання вже досить давно має гарні бібліотеки, здатні вирішити останні два завдання: орієнтацію та декодування QR-коду. Одна проблема: для якісного декодування такі бібліотеки очікують на вхід гарне бінарне зображення безпосередньо штрих-коду. І навпаки, завдання локалізації штрих-коду на зображенні приділяється мало уваги.

Чим точніше локалізуєш об'єкт розпізнавання, тим простіше вибрати правильні інструменти передоброби і, власне, розпізнати його. Тому, якщо необхідно підвищити якість розпізнавання QR-кодів у проекті, слід почати з модернізації методів локалізації QR-кодів. Адже навіть якщо згодом потрібно бінаризувати зображення, набагато ефективніше (як з обчислювальної, так і з якісної точок зору) бінаризувати регіон зі штрихкодом, ніж повністю вихідне зображення.

Для вирішення цих проблем було розроблено різноманітні методи та підходи для розпізнавання QR-кодів, починаючи від традиційних методів обробки зображень і закінчуючи новітніми методами глибокого навчання. Метою даної роботи є надання всебічного огляду різних методів і підходів, які використовуються для розпізнавання QR-кодів. Мета полягає в тому, щоб обговорити сильні сторони та обмеження кожного методу, а також їх відповідні застосування, щоб надати цінну інформацію для дослідників і практиків, які працюють у цій галузі.

Дана робота має на меті зробити внесок у розвиток досліджень розпізнавання QR-кодів і забезпечити краще розуміння різних методів і підходів, доступних для цього завдання. Ця інформація має вирішальне значення для розробки більш точних і ефективних методів розпізнавання QR-кодів, які можуть мати важливе практичне застосування в різних областях, таких як маркетинг, охорона здоров'я, логістика тощо.

Тож метою даної атестаційної роботи є дослідження та аналіз методів розпізнавання QR-кодів.

1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМНОЇ ГАЛУЗІ

1.1 Огляд технології QR-кодів

QR-код (Quick Response Code) – двомірний штрихкод, який був розроблений у Японії в середині 90-х років для цілей автомобільної промисловості. Завдяки можливості швидкого зчитування та більшої порівняно з лінійними штрих-кодами ємності, система QR-кодів стала популярна у всьому світі в різних галузях життєдіяльності.

У будь-якому QR-коді зашифрована та чи інша інформація. Вона може бути наступних видів:

- координати – якщо розпізнати такий QR код, то в будь-якому картографічному сервісі відобразиться адреса. Це може бути розташування магазину або будь-якої організації або навіть якогось заходу. Все залежить від того, звідки було вираховано код;

- номер телефону – просканувавши QR-код, смартфон автоматично набере зашифрований номер;

- звичайний текст – теоретично закодовані можуть бути навіть прості слова;

- візитна картка – поєднує в собі дані про телефон, електронну пошту та ім'я людини;

- URL-адреса – шифрується QR-кодом найчастіше [3]. Сканування малюнку призведе до запуску інтернет-браузера та переходу на задану сторінку.

Може постати питання – навіщо використовувати QR-код, який неможливо розпізнати без певної програми? Все дуже просто. Якщо звичайну адресу можна запам'ятати, а номер телефону вводиться в контактну книгу досить легко, то з URL-адресою такий фокус не пройде. Її безглуздо фотографувати – у майбутньому ніхто не буде вбивати відповідний текст в адресний рядок браузера. До того ж, адреса може містити безліч складних слів, або ж й зовсім бути незрозумілим або нелогічним для звичайного користувача набором символів або слів.

Деякі смартфони можуть розпізнати QR-код без залучення додаткових програм. Ця функція вбудована в стандартну програму «Камера». При зчитуванні коду з'явиться зелений квадрат або інший знак, натиснення на який дозволить прочитати зашифровану інформацію або перейти за посиланням. Найчастіше настільки легким розпізнаванням QR-коду можуть похвалитися флагмани.

Програми, здатні розшифрувати QR-код, зазвичай дуже прості в освоєнні. До того ж й важать вони небагато.

На відміну від стандартних лінійних штрих-кодів, які зазвичай сканують апаратно, QR-код часто сканується камерою. Структура QR-коду повністю описана стандартом ISO/IEC 18004 (ISO/IEC standard 18004). Для побудови стійкого алгоритму розпізнавання таких зображень QR-код має деякі реперні точки, які формують функціональний шаблон (function pattern): три квадрати в кутах зображення штрихкоду (які називаються finder patterns) і менші синхронізуючі квадратики по всьому зображенню штрихкоду, що можна побачити на рисунку 1.1. Такі точки дозволяють нормалізувати розмір зображення та його орієнтацію.

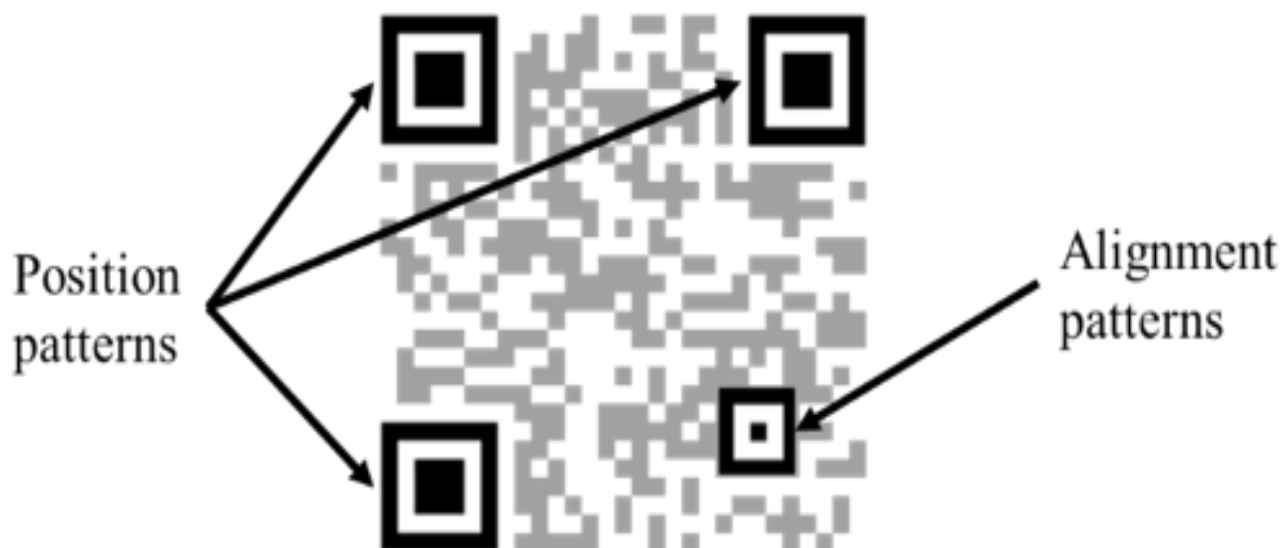


Рисунок 1.1 – Приклад QR-коду

Хоча візуально всі QR-коди схожі між собою, різні екземпляри QR-кодів залежно від обсягу закодованих даних можуть мати різне компонування внутрішніх елементів. Крім того, великою популярністю користуються так звані

дизайнерські QR-коди, в яких замість частини додаткової інформації, що гарантує якісне розпізнавання штрих-коду, використовуються сторонні графічні елементи (логотипи, емблеми, написи тощо). Всі ці особливості QR-кодів повинні бути обов'язково враховані при побудові методів локалізації та розпізнавання QR-кодів.

1.2 Метод детектування об'єктів Віоли та Джонса

Метод детектування об'єктів Віоли та Джонса був розроблений для пошуку обличчя на зображенні в режимі реального часу. Даний метод зводить завдання детектування до завдання бінарної класифікації в кожній точці зображення, тобто для кожної прямокутної області зображення, взятої з усілякими зрушеннями і масштабами, за допомогою наперед навченого класифікатора перевіряється гіпотеза про наявність в області об'єкта, що шукається [4].

Як ознаковий простір метод Віоли і Джонса використовує прямокутні ознаки Хаара, значення яких обчислюється як різниця сум яскравостей пікселів областей зображення всередині суміжних прямокутників. Для ефективного обчислення значення ознак Хаара використовується інтегральне зображення, яке також відоме у літературі під терміном *summed-area table*. З кожною ознакою метод Віоли та Джонса пов'язує бінарний «слабкий» класифікатор $h(x):X \rightarrow \{-1,+1\}$, зазвичай представлений у вигляді дерева, що розпізнає, з одним розгалуженням.

Далі за допомогою методу машинного навчання AdaBoost будується "сильний" класифікатор як лінійна суперпозиція зазначених вище "слабких" класифікаторів. Висока швидкість роботи методу Віоли та Джонса забезпечується за рахунок використання каскаду «сильних» класифікаторів, який дозволяє за малу кількість обчислень локалізувати «порожні» регіони зображення, що не містять об'єкта.

1.3 Види кодів

Першу систему QR-кодів винайшли в 1994 році фахівці японської компанії Denso Wave, дочірнього підприємства Toyota. На виробництві знадобився спосіб точно відслідковувати автомобілі та деталі до них. Для цього було вирішено розробити різновид штрих-коду, за допомогою якого можна було б кодувати японські ієрогліфи, латинські літери, цифри та деякі інші символи.

Сканери штрих-коду використовуються як інструмент для обліку або виведення інформації. Кожен об'єкт, будь то товар або просто вироби, на які потрібно отримати інформацію, забезпечується штрихкодом. Штрихкод зазвичай зберігає у собі певний унікальний номер, яким завжди можна знайти докладну інформацію про об'єкт. Штрихкод – це закодована інформація, представлена у придатному для зчитування сканером вигляді.

Штрихкод складається з чергування об'єктів: смужки, крапки та білий простір. Всі ці фігури мають різні геометричні характеристики. Виходить матриця, яка може бути перетворена на цифровий код при обробці.

Штрих коди бувають наступних видів:

– одномірний код зазвичай містить мінімальний набір-інформацію. Довжину одновимірного коду неможливо збільшувати нескінченно, а значить, і кількість інформації обмежена. Одномірним цей код називається тому, що вся інформація зчитується в одній площині вздовж осі X;

– двовимірний код може містити до двох друкованих аркушів інформації. Код записаний у двох координатах - X і Y, де перетином цих координат є осередок даних.

Звичайний штрих-код читається лише в одному напрямку – зліва направо. Тому він може зберігати порівняно невеликий обсяг інформації – як правило, це букви та цифри.

QR-код читається у двох напрямках (тому його також називають «двовимірним штрих-кодом») – по горизонталі та по вертикалі. Це дозволяє зберігати у ньому більше даних.

Метою розробників було створити відомий формат, що сканується під будь-яким кутом, щоб код було легко помітити і не потрібно було витратити час, вибираючи правильне положення сканера. Так вони прийшли до усім відомого сьогодні квадратного коду, який використовується досі.

Розробка першого QR-коду зайняла понад рік. Він міг вмістити до 7000 цифр та ієрогліфів кандзі та зчитувався у десять разів швидше, ніж звичайний штрих-код.

Принцип роботи наступний:

- на блок розшифровок надходить інформація, що вже містить конкретний код, блок починає аналізувати;

- спочатку він розуміє, який кодування штрихкод прийшов, або ж QR-код. Для цього він бере крайні позиції точок;

- наступним процесом блок починає кожну точку поетапно зчитувати, як 0 чи 1; якщо точка незафарбована, це 0, якщо зафарбована та чорна, то програма зчитує це як 1;

- програма складає бінарний код;

- результати цієї інформації можна спостерігати, коли проходить зчитування того ж QR-коду або штрихкоду.

З появою QR-кодів змінилася і методика розпізнавання: впровадили так звану Image технологію.

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І АЛГОРИТМІВ

2.1 Етапи детектування QR-кодів

Для детектування QR-кодів можна використовувати різні алгоритми, але зазвичай вони складаються з наступних етапів:

- передпроцесінг зображення: зображення піддається обробці, щоб підвищити контрастність та зменшити шум. Це можна досягти за допомогою фільтрації, згладжування, або інших технік обробки зображень;

- виявлення контурів: зображення аналізується для виявлення контурів, які можуть належати QR-коду. Для цього можна використовувати алгоритми, такі як Canny Edge Detection, Sobel Edge Detection або інші;

- знаходження кутів: після виявлення контурів потрібно знайти кути QR-коду. Для цього можна використовувати алгоритми, які знаходять лінії на зображенні та визначають їх перетини;

- класифікація QR-коду: після знаходження кутів QR-коду, можна використати алгоритми класифікації, які визначають, чи є цей код QR-кодом, а не іншим типом кодування;

- декодування QR-коду: якщо QR-код був успішно знайдений і класифікований, останнім етапом є декодування коду. Для цього потрібно використовувати алгоритми декодування, які визначають зміст QR-коду та перетворюють його у текстову форму.

У загальному, детектування QR-кодів вимагає використання різноманітних алгоритмів та методів комп'ютерного зору. Ці алгоритми можуть бути складними та вимагати значного обчислювального потужності. Проте, з появою нових технологій та розвитком машинного навчання, можливо використовувати більш точні та ефективні алгоритми детектування QR-кодів. Наприклад, нейронні мережі та глибоке навчання можуть забезпечити високу точність та надійність виявлення QR-кодів навіть при наявності шуму та перекривання. Методи машинного

навчання можуть також забезпечити більш швидке детектування QR-кодів за рахунок попередньої обробки та класифікації зображень.

Однак, необхідно зазначити, що використання методів машинного навчання також потребує великої кількості навчальних даних та відповідної інфраструктури для їх обробки та навчання моделей. Крім того, залежно від розміру та складності QR-кодів, може виникнути проблема масштабованості методів машинного навчання. Тому, перед використанням цих методів, необхідно ретельно проаналізувати їх переваги та недоліки в конкретному випадку застосування.

Усі розглянуті методи детектування QR-кодів мають свої переваги та недоліки, і вибір методу залежить від конкретної задачі та умов застосування. Наприклад, якщо необхідно детектувати QR-коди з великої кількості зображень, можуть бути більш підходящими методи машинного навчання. У разі, коли розмір QR-коду досить великий та детектування відбувається на невеликій відстані, геометричні методи можуть бути більш ефективними та точними.

Отже, визначення оптимального методу детектування QR-кодів залежить від конкретних умов використання, таких як швидкість обробки, точність та надійність, а також наявність додаткової інформації про зображення (наприклад, наявність маркерів або розмірів QR-коду).

Методи машинного навчання можуть забезпечити високу точність та ефективність, але вони потребують значної кількості навчальних даних та обчислювальних ресурсів. Методи комп'ютерного зору та алгоритми обробки зображень можуть бути менш складними в реалізації та більш масштабованими, але можуть бути менш точними, особливо якщо зображення має низьку якість або знаходиться в незвичайному куті. Геометричні методи можуть бути менш складними в реалізації та більш надійними, але вони можуть бути менш масштабованими та менш точними в складних сценаріях.

Незважаючи на те, який метод детектування QR-коду використовується, важливо враховувати, що це є тільки одним етапом у розпізнаванні QR-коду. Після детектування, потрібно провести декодування QR-коду, щоб отримати інформацію, яка міститься в коді. Крім того, детектування QR-коду може бути

частиною більшої системи, наприклад, системи контролю складу або системи безпеки.

2.2 Алгоритми детектування QR-кодів

Алгоритми детектування QR-кодів є важливим етапом в процесі їх розпізнавання та інтерпретації. У розробці алгоритмів детектування QR-кодів використовуються різні методи, включаючи методи машинного навчання, комп'ютерного зору та геометричні методи. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки з точки зору точності, ефективності, надійності та масштабованості.

Методи машинного навчання можуть бути використані для детектування QR-кодів з високою точністю та ефективністю, але вони потребують великих обсягів даних та обчислювальних ресурсів для тренування моделей. Методи комп'ютерного зору, включаючи алгоритми обробки зображень, також забезпечують високу точність та ефективність, але вони можуть мати проблеми з надійністю при зміні умов освітлення та забруднення зображення. Геометричні методи зазвичай мають меншу точність, але вони можуть бути дуже ефективними та масштабованими, що робить їх відмінним вибором для застосування на великих масштабах.

Незважаючи на різні методи детектування QR-кодів, важливо враховувати поточні виклики та майбутні напрямки досліджень. Найбільш значущим викликом є забезпечення високої точності та надійності детектування при різних умовах освітлення та перспективи. У майбутньому можна очікувати подальший розвиток методів машинного навчання та комп'ютерного зору, а також розробку нових методів для вирішення цих викликів.

Існує також варіант використання алгоритму з відновленням локалізації знайдених QR-кодів. Цей алгоритм використовується для поліпшення точності та масштабованості процесу розпізнавання. Це досягається за рахунок використання

інформації з QR-коду для відновлення орієнтації та положення коду в зображенні. Після цього можна використовувати більш точні та ефективні методи розпізнавання.

Одним зі способів детектування QR-кодів є використання глибоких нейронних мереж, які можуть використовувати велику кількість даних для навчання та здатні досягати високої точності розпізнавання. Проте, ці методи вимагають значних обчислювальних ресурсів та не завжди ефективні для розпізнавання на відео або в реальному часі.

При побудові методу локалізації QR-коду слід брати до уваги наступні особливості поставленої задачі. По-перше, розроблюваний спосіб повинен мати високу продуктивність для використання в системах розпізнавання, що працюють в режимі реального часу. По-друге, спосіб повинен бути стійким до допустимих спотворень штрих-коду на зображенні. По-третє, спосіб повинен враховувати всю існуючу варіативність QR-кодів.

Як було вже сказано вище, як основний метод було обрано метод Віоли і Джонса. Цей метод добре зарекомендував себе у різних завданнях пошуку ригідних об'єктів, у своїй метод забезпечує необхідну продуктивність. Але в оригінальному варіанті метод Віоли та Джонса використовувати не можна з таких причин:

– у класичному методі Віоли та Джонса використовується сімейство ознак Хаара, які «підкреслюю» текстурні особливості об'єкта, а в даному випадку, хоча QR-код і складається з чорних та білих барселів, їх розподіл дуже відрізняється від штрих-коду до штрих-коду;

– класичний метод Віоли і Джонса призначений для однотипних детектування об'єктів у заданій орієнтації, що також не підходить в даному випадку.

Щоб метод Віоли і Джонса був застосовний для вирішення задачі, слід використати оригінальне сімейство граничних ознак та високорівневий класифікатор у вигляді вирішального дерева. Перша модифікація дозволить акцентувати увагу на граничних особливостях об'єкта, що досліджується, а не на

текстури. Друга модифікація дозволить збудувати єдиний класифікатор, здатний детектувати варіативні об'єкти.

Детектування QR-кодів є важливим завданням у сфері комп'ютерного зору та обробки зображень, існує багато різних підходів до його вирішення, кожен з яких має свої переваги та недоліки з точки зору точності, ефективності, надійності та масштабованості. Вибір конкретного методу залежить від конкретних потреб застосування, та може бути обґрунтованим на основі аналізу відповідних параметрів.

2.2 Градієнтні ознаки Хаара

Для побудови ефективного детектора QR-кодів слід використати спеціальне сімейство градієнтних ознак. Дані ознаки є прямокутними ознаками Хаара, що обчислюються поверх карти спрямованих кордонів, що дозволяє суттєво покращити їх узагальнюючу силу [5].

Карта спрямованих кордонів є зображення модуля градієнта, де додатково враховується переважний напрямок градієнта в точці (x, y) , що визначається як дискретизація кута кордону на горизонтальне, вертикальне, $+45^\circ$ і -45° напрямки. Для побудови детектора QR-кодів використовується два типи карти спрямованих кордонів: карту прямих кордонів та карту діагональних граней.

Нехай встановлено вихідне зображення $f(x,y)$. Тоді можна порахувати наближене значення похідної вздовж горизонтального та вертикального напрямків, використовуючи оператор Собеля.

Поверх побудованої карти спрямованих кордонів (діагональної чи прямої) обчислюються прямокутні ознаки Хаара. На відміну від класичних ознак Хаара такі граничні ознаки добре узагальнюють об'єкти, що містять величезну кількість кордонів.

2.3 Вирішальне дерево сильних класифікаторів

Дерево сильних класифікаторів є видом бінарного вирішального дерева: вузол дерева – це сильний класифікатор, на праве ребро якого потрапляють підвіконня, що ймовірно містять об'єкт, а на ліве – ті, які не розпізналися як об'єкт, відповідно. Остаточна відповідь дається лише у листі. Класичний каскадний класифікатор, описаний в оригінальній роботі Віоли та Джонса – це, по суті, деревоподібний класифікатор, що містить лише один «позитивний» вихід (аркуш) та безліч «негативних» виходів [6].

Будь-який шлях від кореня до нижнього вузла деревоподібного класифікатора може бути представлений як каскад, в якому окремі сильні класифікатори входять з інвертованою відповіддю. Завдяки цьому вдається збудувати алгоритм навчання деревоподібного класифікатора, який використовує процедуру навчання класичного каскадного класифікатора для навчання окремих шляхів.

Деревоподібний класифікатор дозволяє навчати більш ефективні з погляду повноти класифікатори для варіативних об'єктів, порівняно з класичними каскадними класифікаторами.

3 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В ході практики необхідно виконати поставлене завдання з дослідження методів та підходів до розпізнавання QR-кодів.

Основна мета цієї роботи – надати комплексний огляд різних методів і підходів, що використовуються для розпізнавання QR-кодів. Зокрема, ми прагнемо:

- визначити та класифікувати різні методи та підходи, що використовуються для розпізнавання QR-кодів, зокрема методи на основі обробки зображень, методи на основі машинного навчання та гібридні методи;

- обговорити сильні сторони та обмеження кожного методу, а також їх відповідні застосування, щоб надати цінну інформацію для дослідників і практиків, які працюють у цій галузі;

- порівняти різні методи та підходи з точки зору їх точності, ефективності, надійності та масштабованості;

- визначте поточні виклики та майбутні напрямки досліджень розпізнавання QR-кодів, включаючи потребу в більш точних і ефективних методах, які можуть впоратися з варіаціями освітлення, перспективи та спотворень.

Вирішуючи ці цілі, ця робота має на меті забезпечити повний огляд сучасного стану розпізнавання QR-кодів і зробити внесок у розвиток досліджень у цій галузі.

Метою роботи є дослідження та порівняння ефективності різних методів і підходів до розпізнавання QR-кодів. Це дозволить визначити найбільш оптимальний метод для практичного використання в залежності від потреб і вимог користувача.

4 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ПІДХОДІВ ДО РОЗПІЗНАВАННЯ QR КОДІВ

4.1 Методи та підходи до розпізнавання QR-кодів

Шаблон QR-коду зберігає зашифровану послідовність даних у двійковому форматі (1 і 0) як матрицю. Кожній окремій клітинці сітки присвоюється значення залежно від кольору (чорний або білий). Потім клітинки групуються у більші шаблони. Ключі закодованих даних містять дублікати, тому якщо поверхня QR-коду певною мірою пошкоджена, його можна прочитати.

Пристрій (спеціальний сканер або смартфон) розпізнає QR-код за трьома квадратними позначками, розташованими на його кутах. Вони вказують, у якому напрямку читати код. Знайшовши їх, сканер зчитує вміст квадрата, а потім аналізує QR-код, представляючи його у вигляді сітки. Процес зчитування забезпечується спеціальним програмним забезпеченням, здатним витягувати дані з шаблонів у матриці.

Крім того, кожен QR-код має синхронізаційні смуги, щоб його можна було прочитати навіть на нерівних поверхнях.

Крім того, QR-код містить маркер версії, тобто інформацію про формат, у якому закодовані дані. Їх чотири: цифровий, алфавітно-цифровий, двійковий і кандзі для японських ієрогліфів.

QR-код також має блоки корекції помилок Ріда-Соломона, які розташовані по краях. Коди Ріда-Соломона - це особлива група кодів, які виправляють помилки при зчитуванні QR. Таким чином, навіть якщо 30% поверхні QR-коду пошкоджено, сканер зчитує його правильно.

Нарешті, кожен QR-код відокремлений від зовнішнього простору пробілом або «тихою зоною». Він потрібен, щоб сканер розпізнав код (див. рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Принципи QR-коду

QR-код ділиться на такі частини:

- позиціонування/орієнтація;
- формат інформації;
- відмітки часу;
- інформація про версію;
- інтервал;
- вирівнювання.

Залежно від програми використовуються статичні та динамічні QR-коди. Перші містять інформацію, яку не можна редагувати після створення коду. Вони підходять для особистого користування, наприклад, для встановлення Wi-Fi-з'єднання або створення візитних карток, ідентифікації співробітників, бейджів подій, технічної документації продукту тощо.

У випадку з динамічним QR-кодом інформацію можна оновлювати, редагувати, а також змінювати тип самого такого коду після його створення. Коди такого типу більше підходять для бізнесу та маркетингових цілей. В рамках рекламної кампанії за допомогою QR-кодів можна збирати та вимірювати статистику кожного скану.

У зв'язку з цим розпізнавання QR-кодів стає все більш актуальним завданням для дослідників і розробників. Це зумовлює необхідність розробки швидких і надійних методів і алгоритмів розпізнавання QR-кодів [7].

Існує багато різних підходів і методів для розпізнавання QR-кодів, зокрема такі:

- застосування методів машинного навчання, таких як нейронні мережі, для автоматичного розпізнавання QR-кодів на зображеннях. Ці методи дозволяють досягти високої точності та швидкості розпізнавання.

- використання комп'ютерного зору та алгоритмів обробки зображень, які дозволяють виділяти QR-коди на зображеннях, розпізнавати їх та отримувати з них інформацію.

- використання геометричних характеристик QR-кодів для їх розпізнавання. Цей підхід базується на аналізі форми та розміру QR-кодів, що дозволяє їх розпізнавати та ідентифікувати.

- використання комбінованих методів, які поєднують різні підходи та методи для досягнення максимальної ефективності та точності розпізнавання QR-коду.

Кожен із цих підходів має свої переваги та недоліки, тому вибір методу залежить від конкретних потреб і вимог користувача [8]. У наступних розділах будуть більш детально розглянуті різні методи та підходи до розпізнавання QR-кодів, їх переваги та недоліки.

4.1.1 Методи машинного навчання

Машинне навчання — це галузь штучного інтелекту, яка дозволяє комп'ютеру навчитися виконувати певні завдання, необхідні для розпізнавання QR-кодів. Методи машинного навчання можна використовувати для розпізнавання QR-кодів у реальному часі з високою точністю та швидкістю [9].

Одним із методів машинного навчання, який можна використовувати для розпізнавання QR-кодів, є, зокрема, нейронні мережі та метод опорних векторів (SVM).

Одним із найефективніших методів машинного навчання для розпізнавання QR-кодів є нейронна мережа. Нейронні мережі — це комп'ютерні системи, здатні навчитися виконувати завдання, які зазвичай потребують людського інтелекту. Наприклад, нейронні мережі можуть навчитися розпізнавати об'єкти на зображеннях, включаючи QR-коди [10]. Крім того, існують різні архітектури нейронних мереж, які можна використовувати для розпізнавання QR-кодів, наприклад згорткові нейронні мережі (CNN) і рекурентні нейронні мережі (RNN).

Згорткові нейронні мережі пропонують більш масштабований спосіб розпізнавання об'єктів і класифікації зображень.

Згорточна нейронна мережа (ConvNet або CNN) — це штучна нейронна мережа (ANN), яка використовує алгоритми глибокого навчання для аналізу зображень, класифікації візуальних елементів і виконання завдань комп'ютерного зору.

CNN використовує принципи лінійної алгебри, такі як множення матриць, щоб виявити закономірності в зображенні. Оскільки ці процеси включають складні обчислення, вони вимагають графічних процесорів (GPU) для навчання моделей.

Простіше кажучи, CNN використовує алгоритми глибокого навчання, щоб отримати вхідні дані, такі як зображення, і призначити важливість у формі упереджень і ваги різним аспектам цього зображення. Таким чином CNN може розрізняти зображення або класифікувати їх [11].

Оскільки згорточна нейронна мережа є штучною нейронною мережею, важливо відтворити нейронні мережі.

В обчислювальній техніці нейронна мережа є частиною машинного навчання (ML), яка використовує алгоритми глибокого навчання. Це аналогічно схемам зв'язку, яким слідує нейрони в мозку людини. Штучні нейронні мережі також черпають натхнення з того, як організована зорова кора.

Отже, різні типи нейронних мереж або штучних нейронних мереж (ШНМ) використовуються для різних цілей. Одним із них є CNN, який використовується для виявлення та класифікації зображень тощо. Він був представлений аспірантом Янном Лекуном у 1980-х роках.

Рання версія CNN, LeNet, названа на честь Лекуна, могла розпізнавати рукописні цифри. Потім його використовували в банківських і поштових службах для читання номерів на чеках і поштових індексів, написаних на конвертах.

Однак цій ранній версії не вистачало масштабування; отже, CNN не знайшли широкого використання в системі штучного інтелекту та комп'ютерного зору. Крім того, для більш ефективної роботи з великими зображеннями були потрібні значні обчислювальні ресурси та дані.

Крім того, у 2012 році AlexNet переглянув глибоке навчання, яке використовує нейронні мережі, що складаються з кількох рівнів. Приблизно в цей час технологія вдосконалилася, стали доступними великі набори даних і важкі обчислювальні ресурси, що дозволило створювати складні CNN, здатні ефективно виконувати завдання комп'ютерного зору.

Згорточна нейронна мережа складається з багатьох шарів, навіть сотні. Ці шари вчаться ідентифікувати різні особливості певного зображення.

Хоча CNN є нейронними мережами, їхня архітектура відрізняється від звичайних ШНМ.

Останній передає дані через багато прихованих шарів для їх перетворення, де кожен шар створюється набором штучних нейронів і повністю з'єднується з кожним нейроном того самого шару. Нарешті, є повністю підключений шар або вихідний шар для відображення результату.

CNN, з іншого боку, організовує шари в трьох вимірах – ширині, глибині та висоті. Тут шар нейронів з'єднується лише з нейронами на невеликій ділянці, а не з кожним нейроном наступного шару. Нарешті, кінцевий результат представлений єдиним вектором із оцінкою ймовірності та має лише вимір глибини [12].

Згортка в CNN відноситься до математичної операції для об'єднання двох наборів даних. У CNN концепція згортки застосовується до вхідних даних для виведення карти об'єктів шляхом фільтрації інформації.

Це підводить нас до деяких важливих понять і термінології, які використовуються в CNN.

- фільтр: також відомий як детектор функцій або ядро, фільтр може мати певний розмір, наприклад 3×3 . Він перебирає вхідне зображення, щоб виконати множення матриці на кожному елементі для застосування згортки. Застосування фільтрів до кожного навчального зображення з різною роздільною здатністю плюс результат згорнутого зображення працюватиме як вхідні дані для наступного шару;

- відступ: використовується для розширення вхідної матриці до її меж шляхом вставки фіктивних пікселів. Це робиться для протидії тому факту, що згортка зменшує розмір матриці. Наприклад, матриця 9×9 може стати матрицею 3×3 після фільтрації;

- крок: якщо ви хочете отримати менший результат, ніж ваш вхід, ви можете зробити крок. Це дозволяє пропускати певні ділянки, поки фільтр ковзає по зображенню. Пропустивши два або три пікселі, ви можете створити більш ефективну сітку, зменшивши просторову роздільну здатність;

- ваги та упередження: CNN мають ваги та упередження у своїх нейронах. Модель може вивчати ці значення під час навчання, і значення залишаються постійними на заданому рівні для всіх нейронів. Це означає, що кожен прихований нейрон виявляє ті самі особливості в різних областях зображення [13]. У результаті мережа стає толерантною при перекладі об'єктів у задане зображення;

- ReLU: означає Rectified Linear Unit (ReLU) і використовується для ефективнішого та швидшого навчання. Він відображає негативні значення на 0 і підтримує позитивні значення. Це також називається активацією, оскільки мережа переносить на наступний рівень лише активовані функції зображення;

- рецептивне поле: у нейронній мережі кожен нейрон отримує вхідні дані з різних місць із попереднього рівня. А в згорткових шарах кожен нейрон отримує вхідні дані від обмеженої області лише попереднього шару, що називається

рецептивним полем нейрона. У випадку шару FC весь попередній шар є рецептивним полем.

Частини CNN приведено на рисунку 4.2:

- Вхідний шар: тут надходять вхідні дані, наприклад зображення. Це буде 3D-об'єкт із визначеною висотою, шириною та глибиною.
- Один/багато прихованих шарів або фаза вилучення ознак: ці шари можуть бути згортковим шаром, шаром об'єднання та повністю зв'язаним шаром.
- Вихідний шар: тут буде показано результат.

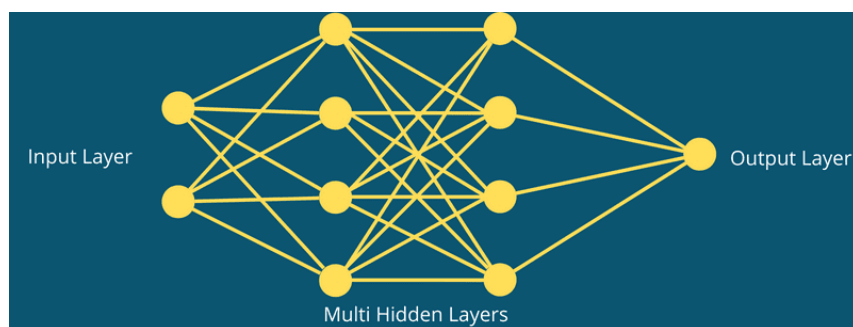


Рисунок 4.2 – Архітектура CNN

Проходження зображення через шар згортки перетворює його на карту функцій або карту активації. Після декомпозиції вхідних даних шари розпаковують зображення та передають результат до наступного шару.

CNN виконає багато методів згортання та об'єднання, щоб виявити функції на етапі вилучення ознак. Наприклад, якщо ви введете зображення кота, CNN розпізнає його чотири лапи, колір, два очі тощо.

Далі повністю пов'язані шари в CNN діятимуть як класифікатор для витягнутих ознак [14]. На основі того, що алгоритм глибокого навчання передбачив про вік зображення, шари дадуть результат.

До переваг CNN можна віднести наступне:

1. Більш висока точність

CNN пропонують вищу точність, ніж звичайні нейронні мережі, які не використовують згортку. CNN особливо корисні, коли завдання включає великі

обсяги даних, розпізнавання відео та зображень тощо. Вони забезпечують дуже точні результати та прогнози; тому їх використання зростає в різних секторах.

2. Ефективність обчислень

CNN пропонують вищий рівень обчислювальної ефективності, ніж інші звичайні нейронні мережі. Це пов'язано з використанням процесу складання. Вони також використовують зменшення розмірності та спільний доступ до параметрів, щоб зробити моделі швидшими та легшими для розгортання. Ці методи також можна оптимізувати для роботи на різних пристроях, будь то ваш смартфон або ноутбук.

3. Вилучення функцій

CNN може легко вивчати особливості зображення, не вимагаючи ручного проектування. Ви можете використовувати попередньо навчені CNN і контролювати ваги, подаючи їм дані під час роботи над новим завданням, і CNN адаптується до нього без проблем.

Інша архітектура нейронної мережі, яка може бути використана для розпізнавання QR-кодів, це рекурентні нейронні мережі (RNN).

Рекурентні нейронні мережі (RNN) — це клас штучних нейронних мереж, у яких зв'язки між вузлами утворюють орієнтований у часі граф. Це створює внутрішній стан мережі, який дозволяє їй демонструвати динамічну поведінку з часом. На відміну від нейронних мереж прямого зв'язку, ШНМ можуть використовувати свою внутрішню пам'ять для обробки довільних послідовностей вхідних даних. Це робить їх застосовними для таких завдань, як розпізнавання несеgmentованого безперервного почерку та розпізнавання мови [15].

Рекурсивна нейронна мережа створюється шляхом рекурсивного застосування того самого набору ваг до диференціальної графоподібної структури шляхом обходу цієї структури в топологічній послідовності. Також такі мережі зазвичай навчаються в режимі зворотного автоматичного розрізнення. Їх було введено для навчання розподіленим представленням структури, таким як логічні терміни. Окремим випадком рекурсивних нейронних мереж є самі RNM, структура яких відповідає лінійному ланцюжку. Рекурсивні нейронні мережі були

застосовані для обробки природної мови. Рекурсивна тензорна нейронна мережа використовує функцію компонування на основі тензорів для всіх вузлів дерева.

Іншим ефективним методом машинного навчання для розпізнавання QR-кодів є метод опорних векторів (SVM). SVM — це алгоритм машинного навчання, який дозволяє побудувати оптимальну межу розподілу між двома класами об'єктів [16]. Використання SVM для розпізнавання QR-кодів передбачає створення моделі, яка буде навчена відрізняти QR-коди від інших об'єктів на зображеннях.

Метод опорних векторних машин (SVM) є одним із найпопулярніших методів навчання, який використовується для вирішення проблем класифікації та регресії. Основна ідея методу полягає в побудові гіперплощини, яка оптимальним чином розділяє об'єкти вибірки [17]. Алгоритм працює в припущенні, що чим більша відстань між розділовою гіперплощиною та об'єктами розділених класів, тим менша середня помилка класифікатора.

Спочатку цей метод відноситься до бінарних класифікаторів, хоча існують способи змусити його працювати і для проблем мультикласифікації.

Ідею методу зручно проілюструвати таким простим прикладом: дані точки знаходяться на площинах, розділених на два класи (див. рис. 4.3). Проведемо лінію, що розділяє ці два класи (червона лінія на рис. 3). Крім того, усі нові точки (не з навчальної вибірки) автоматично класифікуються наступним чином:

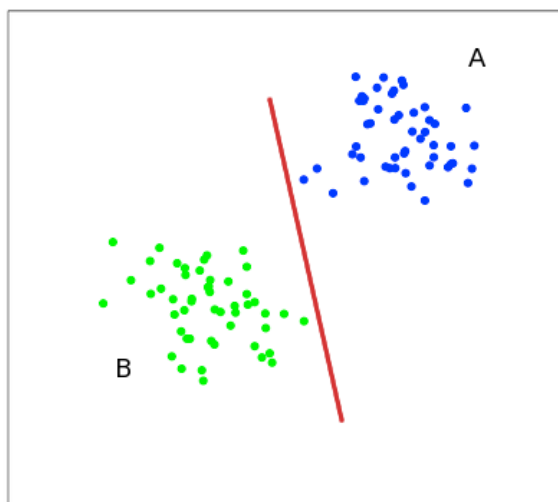


Рисунок 4.3 – Приклад методу SVM з точками на площині, розділеними на два класи

- Точка над прямою відноситься до класу А,
- Точка під прямою належить до класу В.

Така лінія називається лінією поділу. Однак у просторах великих розмірів пряма лінія більше не розділятиме наші класи, оскільки поняття «нижче прямої» або «вище прямої» втрачає всякий сенс. Тому замість прямих слід розглядати гіперплощини — простори, розмірність яких на одиницю менша від розмірності вихідного простору. У U , наприклад, гіперплощина – це звичайна двовимірна площина.

У нашому прикладі є кілька прямих ліній, що розділяють два класи (див. рис. 4.4).

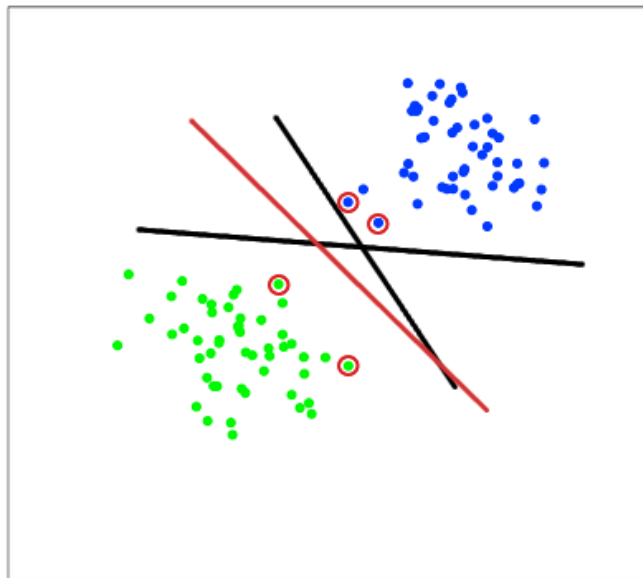


Рисунок 4.4 – Приклад методу SVM з кількома лініями, що ділять точки на два класи

З точки зору точності класифікації найкраще вибрати пряму, від якої відстань до кожного класу є максимальною. Іншими словами, виберемо пряму, яка найкраще розділяє класи (червона пряма на рис. 4.3). Така пряма і взагалі гіперплощина називається оптимальною розділовою гіперплощиною.

Вектори, що лежать найближче до розділової гіперплощини, називаються опорними. На рисунку 4.4 вони позначені червоним кольором.

Переваги SVM перед стохастичним градієнтним методом і нейронними мережами:

- задача опуклого квадратичного програмування добре вивчена і має єдине рішення;
- метод опорних векторів еквівалентний двошаровій нейронній мережі, де кількість нейронів на прихованому шарі визначається автоматично як кількість опорних векторів;
- принцип оптимальної розділової гіперплощини веде до максимізації ширини розділової смуги, а отже, до більш впевненої класифікації.

Недоліки класичного SVM:

- нестійкість до шуму: викиди у вихідних даних стають референсними об'єктами-порушниками та безпосередньо впливають на побудову розділової гіперплощини;
- загальні методи побудови ядер і просторів вирівнювання, найбільш придатні для конкретного завдання, не описані;
- немає вибору ознак;
- необхідно вибрати постійну C за допомогою перехресної перевірки.

Однак незалежно від того, яка архітектура буде використана, для всіх них важливим є питання підготовки даних для машинного навчання. Зокрема, важливим кроком є збір і підготовка великої кількості зображень QR-кодів для навчання моделі [18]. Це можна зробити за допомогою різних методів збору даних, таких як сканування QR-кодів з різних джерел, таких як зображення з Інтернету або фотографії з мобільних пристроїв.

Усі ці методи машинного навчання можна використовувати для розпізнавання QR-кодів у різноманітних сценаріях, включаючи розпізнавання QR-кодів на мобільних пристроях і сканування QR-кодів із потокового відео в реальному часі. Однак для досягнення найкращої точності та швидкості розпізнавання можна використовувати комбінацію різних методів машинного навчання та алгоритмів комп'ютерного зору.

4.1.2 Алгоритми комп'ютерного зору та обробки зображень

Якщо говорити про алгоритми комп'ютерного зору для розпізнавання QR-кодів, то можна використовувати різні методи для покращення якості зображень QR-кодів і забезпечення їх точного розпізнавання.

Одним із таких методів є попереднє покращення, яке допомагає покращити контрастність і роздільну здатність зображення QR-коду.

Інший метод полягає у використанні фільтрів, які можуть ізолювати QR-коди від складного фону та шуму. Для цього можна використовувати такі фільтри, як фільтр Sobel або Canna.

Фільтр Собеля та фільтр Канна — це алгоритми обробки зображень, які широко використовуються для виявлення контурів на зображеннях. Фільтр Sobel використовується для виявлення горизонтальних і вертикальних контурів на зображенні, тоді як фільтр Canna використовується для виявлення вигнутих контурів.

QR-коди — це двовимірні матричні штрих-коди, які містять інформацію в закодованому вигляді. Оскільки QR-коди можна розміщувати на складному та шумному фоні, виявити їх на зображенні може бути складним завданням.

Щоб виявити QR-коди на зображеннях зі складним фоном і шумом, ви можете використовувати фільтр Sobel і Canna. Після використання цих алгоритмів можна застосувати алгоритми розпізнавання образів, щоб визначити, чи містить зображення QR-код [19].

Після цього використовуються методи сегментації зображення, які допомагають відрізнити QR-коди від зображень і визначити їх межі.

Існує кілька методів сегментації зображень, які можна використовувати для вилучення QR-кодів і визначення їх меж у зображеннях. Деякі з них описані нижче:

– метод порогової сегментації: цей метод використовує одне або більше порогових значень для поділу зображення на дві або більше груп пікселів. Зазвичай порогові значення вибирають на основі аналізу інтенсивності пікселів на

зображенні [20]. Для QR-кодів ви можете вибрати порогове значення, яке дозволить вам відрізнити код від фону та інших об'єктів на зображенні;

– метод розмиття: цей метод використовує різні фільтри для пом'якшення зображення та видалення шуму, а потім застосовує пороговий алгоритм сегментації. Розмивання можна виконати за допомогою середніх фільтрів, фільтрів Гауса або медіанних фільтрів [21];

– метод бінаризації зображення: цей метод використовується для перетворення зображення у двійковий формат. Це означає, що на зображенні залишаються лише чорні та білі пікселі. Цей метод може бути корисним для ідентифікації QR-кодів на зображеннях, оскільки коди зазвичай мають чіткі чорні та білі блоки [22].

Як правило, алгоритми обробки зображень, такі як детектори кутів і прямих ліній, використовуються для визначення положення та розміру QR-коду після сегментації зображення для визначення меж QR-кодів. Ви також можете використовувати алгоритми розпізнавання шаблонів, які дозволяють автоматично визначати коди та розпізнавати їх вміст.

Наприклад, алгоритми детектора кутів можуть знаходити кути QR-коду, а потім використовувати ці кути для визначення його розміру та положення. Детектори прямих ліній можна використовувати для виявлення ліній, що обмежують QR-код. Потім можна використовувати алгоритми для визначення положення та орієнтації QR-коду в просторі, щоб дізнатися його вміст.

Алгоритми розпізнавання шаблонів можна використовувати для визначення вмісту QR-коду. Ці алгоритми використовують навчання з репетиторами, щоб навчитися розпізнавати коди та визначати їх значення. Навчання з викладачем полягає в тому, що модель тренується на великій кількості зображень, які вже містять QR-коди та їх вміст. Після навчання модель можна використовувати для автоматичного розпізнавання QR-кодів на нових зображеннях.

Загалом, для ідентифікації QR-кодів на зображеннях і автоматичного розпізнавання їх вмісту можна використовувати комбінацію методів сегментації зображень і обробки зображень.

Нарешті, методи використовуються для збільшення розміру зображень QR-кодів, щоб забезпечити більш точне та швидке розпізнавання. Для цього можна використовувати методи інтерполяції зображень, які дозволяють збільшувати розмір зображень без втрати якості.

Інтерполяція зображень — це процес створення нових зображень з використанням інформації, що міститься в оригінальних зображеннях, з метою збільшення їх розміру або зміни пропорцій. Це дозволяє збільшити розмір зображення QR-коду, що допомагає забезпечити більш точне та швидке розпізнавання.

До основних методів інтерполяції зображень відносяться:

– метод білінійної інтерполяції – цей метод використовується для збільшення розміру зображення за допомогою лінійної інтерполяції в двох напрямках [23]. Цей метод робить плавні переходи між пікселями, що допомагає зменшити артефакти, які можуть з'явитися під час збільшення розміру зображення;

– метод бікубічної інтерполяції – цей метод використовується для збільшення розміру зображення за допомогою кубічної інтерполяції. Цей метод більш точний, ніж метод білінійної інтерполяції, оскільки він використовує додаткові пікселі для збільшення розміру зображення [24];

– метод афінної інтерполяції – цей метод використовується для збільшення розміру зображення за допомогою афінного перетворення, яке дозволяє змінювати пропорції зображення [25]. Цей метод може бути корисним, якщо ви хочете збільшити розмір QR-коду, але зберегти його пропорції.

Загалом використання методів інтерполяції зображень дозволяє збільшити розмір QR-коду та забезпечити більш точне та швидке розпізнавання. Однак варто зазначити, що при збільшенні розміру зображення QR-коду за допомогою інтерполяції може з'явитися певний рівень спотворення, особливо якщо зображення збільшено до великих пропорцій. Тому важливо збалансувати бажаний розмір зображення з можливістю точного розпізнавання QR-коду.

Щоб забезпечити більш точне та швидке розпізнавання QR-коду, також можна використовувати спеціальні алгоритми стиснення зображень. Одним із

таких алгоритмів є метод багаторівневої бінаризації, який дозволяє визначити оптимальні значення порогів бінаризації для кожного рівня зображення QR-коду. Це дозволяє зменшити кількість шумів та інших артефактів на зображенні та забезпечити точніше розпізнавання QR-коду.

Загалом, для визначення найбільш оптимального розміру зображення QR-коду та забезпечення його точного та швидкого розпізнавання можна використовувати різні методи та алгоритми. Вибір конкретного методу залежить від конкретних потреб і завдань.

4.1.3 Геометрика для розпізнавання QR-кодів

Останній, але не менш важливий метод – геометрика для розпізнавання QR-кодів.

Геометричні характеристики QR-кодів включають форму, розмір, положення та кут коду. Ці характеристики можна використовувати для розпізнавання та декодування QR-кодів без використання складних алгоритмів аналізу зображень і машинного навчання.

Одним із методів використання геометричних елементів є визначення меж QR-коду на зображенні та його налаштувань за допомогою алгоритмів виявлення кутів і ліній, таких як алгоритм Гафа або алгоритм Шварца.

Алгоритм Хафа та алгоритм Шварца — це методи визначення меж QR-коду на зображенні шляхом пошуку ліній та інших геометричних фігур.

Алгоритм перетворення Хафа полягає у виявленні ліній на зображенні, що може бути корисним для визначення меж QR-коду, якщо він розташований на прямій лінії. Використовуючи алгоритм Гафа, ви можете виявити лінії, навіть якщо вони перериваються або частково закриті іншими об'єктами на зображенні. Алгоритм Хафа перетворює кожен піксель зображення в пари координат (r, θ) , де r – відстань від початку координат до точки, а θ – кут між цією точкою та початком

координат [26]. Потім, використовуючи ці параметри, ви можете визначити лінії на зображенні.

Алгоритм Шварца був розроблений спеціально для визначення меж QR-коду, особливо коли QR-код має складну структуру. Алгоритм Шварца використовується для визначення меж QR-коду шляхом пошуку відповідних геометричних фігур (кола, квадрати, прямокутники тощо) на зображенні. Цей алгоритм заснований на використанні морфологічних операцій та інтерполяції для знаходження меж QR-коду [27]. Алгоритм Шварца може бути ефективним для виявлення меж QR-коду, особливо коли QR-код має складну структуру або міститься на зображенні з великою кількістю шумів та інших артефактів.

Обидва алгоритми можуть бути ефективними для виявлення меж QR-коду на зображенні, але вони мають свої переваги та недоліки, і вибір того чи іншого методу залежить від конкретного завдання та властивостей зображення.

Алгоритм Гафа може бути корисним, якщо QR-код розташований на прямій лінії, але він може бути менш ефективним, якщо QR-код має складну структуру. Алгоритм Гафа також може бути чутливим до шуму та інших артефактів у зображенні, що може призвести до помилкових результатів.

Алгоритм Шварца може бути ефективним для виявлення меж QR-коду зі складною структурою, особливо якщо зображення містить шуми та інші артефакти. Однак це може бути менш ефективним, якщо QR-код розташований на непрямих лініях або якщо зображення має кілька геометричних фігур, які можна використовувати для визначення меж QR-коду [28].

У більшості випадків для визначення меж QR-коду використовується комбінація різних методів і алгоритмів. Наприклад, ви можете використовувати метод порогової сегментації та алгоритм Гафа, щоб визначити межі QR-коду на зображенні. Інші методи обробки зображень, такі як фільтрація та морфологічні операції, також можуть бути застосовані для покращення результатів.

Далі виконується афінне перетворення зображення з використанням знайдених меж і налаштувань QR-коду, що дозволяє його вирівняти і відобразити

в правильному форматі. Далі використовується алгоритм декодування для отримання інформації, закодованої в QR-коді.

Ще один спосіб використання геометричних характеристик – це аналіз особливостей розподілу зображення навколо QR-коду. QR-коди мають характерну структуру, яка полягає в тому, що на першому шарі коду відображаються лише чорні елементи, а на другому – чорно-білі [29]. Цю структуру можна використовувати для пошуку QR-коду на зображенні та визначення його налаштувань.

4.2 Порівняння методів

Існує кілька методів та підходів до аналізу QR кодів, зокрема методи машинного навчання, комп'ютерного зору та алгоритми обробки зображень, а також геометричні методи. Розглянемо кожен з цих методів детальніше:

- методи машинного навчання: можуть використовуватися для класифікації та розпізнавання QR кодів. Наприклад, можна навчити модель класифікувати QR коди за їх типом та іншими параметрами, такими як розмір, кодування та інші властивості. Методи машинного навчання також можуть використовуватися для покращення якості зображення QR коду, наприклад, шляхом відшумлення зображення або покращення контрастності;

- комп'ютерний зір та алгоритми обробки зображень: можуть використовуватися для локалізації та декодування QR кодів на зображенні. Наприклад, можна використовувати алгоритми обробки зображень, такі як бінаризація та сегментація, щоб виділити QR код на зображенні. Після цього можна використовувати алгоритми декодування, такі як алгоритм Ріда-Соломона, для отримання інформації, закодованої в QR коді;

- геометричні методи: можуть використовуватися для визначення позиції та орієнтації QR коду на зображенні. Наприклад, можна використовувати методи

визначення кута та масштабу, щоб визначити позицію QR коду на зображенні та відновити його форму. Після цього можна використовувати алгоритми декодування для отримання інформації, закодованої в QR-коді.

Розглянемо кожний з методів по черзі.

Методи машинного навчання (Machine Learning – ML) до аналізу QR кодів зазвичай використовуються для розпізнавання символів та знаходження меж QR коду на зображенні. Вони можуть бути дуже точними та ефективними, якщо навчити модель на великій кількості даних та налаштувати її параметри правильно. Надійність методів ML залежить від якості даних, використаних для тренування моделі, а також від якості алгоритмів обробки зображень, які використовуються для підготовки даних для ML.

Методи комп'ютерного зору та алгоритми обробки зображень використовуються для знаходження QR коду на зображенні, виокремлення та декодування символів. Вони можуть бути дуже точними та надійними, особливо якщо використовуються у поєднанні з методами ML. Проте, ці методи можуть бути менш ефективними, коли мова йде про обробку великої кількості QR кодів в реальному часі.

Геометричні методи до аналізу QR кодів використовуються для знаходження кутів та розмірів QR коду на зображенні. Вони можуть бути дуже ефективними та точними, особливо якщо зображення QR коду не містить шуму або спотворень. Проте, ці методи можуть бути менш надійними при обробці зображень з низькою якістю або при відсутності чітких меж QR коду.

Загалом, кожен з цих методів може бути використаний залежно від конкретної ситуації та потреб користувача.

Зараз у розвитку технологій для аналізу QR кодів активно використовуються всі три методи. Кожен з методів має свої переваги та недоліки, але разом вони можуть забезпечити високу точність, ефективність та надійність аналізу QR кодів.

Для прикладу, можна розглянути такий сценарій: QR код знімається з камери смартфона, який має вбудований QR-сканер. Смартфон спочатку використовує алгоритми комп'ютерного зору та обробки зображень, щоб визначити позицію та

орієнтацію QR коду на зображенні та виділити його зображення. Після цього, використовуючи алгоритми декодування, він отримує інформацію, закодовану в QR коді.

У той же час, можливо, що декодування QR коду не вдається, наприклад, через неякісне зображення або використання QR коду з невірним форматом. Тоді можна використовувати методи машинного навчання для вирішення проблеми класифікації QR коду та підвищення якості зображення.

У загальному, методи машинного навчання можуть забезпечити високу точність та надійність класифікації та покращення якості зображення. Алгоритми комп'ютерного зору та обробки зображень можуть забезпечити точність та ефективність локалізації та декодування QR коду. Геометричні методи можуть забезпечити високу точність визначення позиції та орієнтації QR коду на зображенні.

А таблиці 4.1 узагальнено приведено вище інформацію.

Таблиця 4.1 – Порівняння методів до аналізу QR кодів

	Методи машинного навчання	Методи комп'ютерного зору та алгоритми обробки зображень	Геометричні методи
Точність	методи машинного навчання можуть навчатися на великій кількості зображень QR кодів з різними варіаціями, що дозволяє отримати більш	методи комп'ютерного зору та алгоритми обробки зображень можуть досягати високої точності при розпізнаванні QR-кодів, якщо вони належним чином налаштовані та забезпечені достатньою кількістю навчальних даних. Точність зазвичай	залежить від якості вхідного зображення та точності алгоритму знаходження геометричних ознак. Якщо зображення високої якості та

Продовження таблиці

	Методи машинного навчання	Методи комп'ютерного зору та алгоритми обробки зображень	Геометричні методи
Точність	точні результати розпізнавання	забезпечені достатньою кількістю навчальних даних. Точність зазвичай залежить від якості зображення та зовнішніх факторів, таких як освітлення та кут огляду	алгоритм добре настроєний, точність може бути дуже високою
Ефективність	використання методів машинного навчання дозволяє досягти високої швидкості розпізнавання, оскільки обробка зображень може бути розпаралелена на багато процесорів або виконуватися на спеціалізованих пристроях	методи комп'ютерного зору та алгоритми обробки зображень можуть бути ефективними, оскільки вони можуть працювати швидко та безперервно при відповідній налагодженості. Використання алгоритмів обробки зображень може допомогти знизити час обробки зображення та розпізнавання QR-коду, що може бути важливо при масовій обробці даних	зазвичай не така висока, як у методів машинного навчання або алгоритмів обробки зображень, оскільки вони вимагають більше обчислювальних ресурсів для знаходження та аналізу геометричних ознак. Однак, з використанням швидких алгоритмів та оптимізації процесу обробки зображень, ефективність

Продовження таблиці

	Методи машинного навчання	Методи комп'ютерного зору та алгоритми обробки зображень	Геометричні методи
Ефективність			може бути покращена
Надійність	методи машинного навчання дозволяють виявляти QR коди з високою стійкістю до шумів, перспектив та спотворень. Крім того, вони можуть навчатися на великій кількості різних видів QR кодів, що дозволяє досягти високої надійності розпізнавання	методи комп'ютерного зору та алгоритми обробки зображень можуть бути надійними, якщо вони належним чином налаштовані та забезпечені достатньою кількістю навчальних даних. Використання алгоритмів обробки зображень може допомогти знизити кількість помилок, що пов'язані з шумом та іншими зовнішніми факторами	висока при використанні високоякісних зображень та добре настроєних алгоритмів. Однак, вони можуть бути менш надійними, коли відбувається спотворення або зміна перспективи зображення
Масштабованість	методи машинного навчання можуть бути легко масштабовані для обробки великої кількості QR кодів, що робить їх ідеальним варіантом для	методи комп'ютерного зору та алгоритми обробки зображень можуть бути масштабовані, оскільки вони можуть працювати з великою кількістю зображень та QR-кодів	залежить від конкретного методу та підходу до розпізнавання QR-кодів. Деякі методи можуть бути більш масштабованими, ніж інші. Це може бути обмеженням для геометричних

Кінець таблиці

	Методи машинного навчання	Методи комп'ютерного зору та алгоритми обробки зображень	Геометричні методи
Масштабованість	використання в бізнес та промислових додатках		методів в порівнянні з іншими методами

Комбінація різних методів та підходів може забезпечити оптимальну точність, ефективність, надійність та масштабованість при аналізі QR кодів. Наприклад, використання методів ML разом з алгоритмами обробки зображень може забезпечити точність та надійність зчитування QR кодів у реальному часі.

Для підвищення точності та ефективності аналізу QR кодів, можна використовувати такі технології, як розподілений аналіз зображень (Distributed Image Analysis), обробка в реальному часі (Real-time Processing) та обробка на вбудованих пристроях (Embedded Processing):

- розподілений аналіз зображень може забезпечити швидку та ефективну обробку великої кількості QR кодів. Для цього можна використовувати розподілену обробку зображень на кількох серверах або використовувати послідовність серверів для обробки різних частин зображення;

- обробка в реальному часі важлива для застосувань, де потрібна швидка реакція на QR коди, такі як операції сканування на касах в магазинах. Для цього можна використовувати спеціалізоване обладнання та оптимізувати алгоритми обробки зображень, щоб зменшити час обробки;

- обробка на вбудованих пристроях, таких як мобільні телефони та планшети, може забезпечити можливість зчитування QR кодів в будь-якому місці та в будь-який час. Для цього можна використовувати спеціалізовані процесори та оптимізувати алгоритми обробки зображень, щоб забезпечити швидку та надійну обробку QR кодів на мобільних пристроях.

Загалом, вибір методу та підходу до аналізу QR кодів залежить від вимог до точності, ефективності, надійності та масштабованості конкретного застосування. Використання комбінації різних технологій може забезпечити оптимальні результати в різних випадках застосування.

4.3 Результати

У даній роботі було досліджено різні методи та підходи до розпізнавання QR кодів, зокрема методи машинного навчання, методи комп'ютерного зору та алгоритми обробки зображень та геометричні методи. Було проаналізовано їх переваги та недоліки з точки зору чотирьох параметрів: точність, ефективність, надійність та масштабованість.

Вибір методу аналізу QR-кодів залежить від конкретного завдання та умов його виконання. Наприклад, якщо важливо швидко та ефективно розпізнати QR-код з відеопотоку, то доцільно використовувати методи комп'ютерного зору на основі штучного інтелекту, які забезпечують високу швидкість обробки та аналізу зображень.

Якщо QR-код має невисоку якість зображення або пошкоджений, доцільно використовувати методи, засновані на відновленні пошкодженого зображення або з використанням методів виправлення помилок.

Якщо потрібна висока точність розпізнавання QR-коду, то варто звернути увагу на методи, які використовують геометричні характеристики та детальний аналіз структури QR-коду.

Також доцільно враховувати вимоги до пристроїв і програмного забезпечення, які використовуються для розпізнавання QR-кодів, а також можливість їх інтеграції з іншими системами та технологіями.

Тому для вибору методу доцільно врахувати вимоги та умови конкретного завдання, а також оцінити переваги та недоліки різних методів розпізнавання QR-коду.

Підсумовуючи все вищесказане, можна дійти висновку, що кожен із методів на кожному з етапів має свої переваги та недоліки. У кожному окремому випадку можна вибрати різні способи, які будуть більш актуальні для тієї чи іншої проблеми і системи.

Загалом, більш актуальним є використання та поєднання різних методів. Їх поєднання може принести більше результатів.

Комбіновані методи розпізнавання QR-кодів поєднують різні підходи та техніки, такі як методи аналізу зображень, геометричні об'єкти та машинне навчання. Ці методи забезпечують більш точне та надійне розпізнавання QR-кодів, особливо в умовах низької якості зображення.

Одним із прикладів комбінованих методів є метод, який використовує комбінацію геометричних елементів і методів аналізу зображень. Цей метод використовує геометричні характеристики QR-коду для вирівнювання та корекції зображення, а також методи аналізу зображення, щоб знайти QR-код на зображенні та декодувати його інформацію.

Іншим прикладом комбінованого методу є той, який використовує комбінацію геометричних елементів і машинного навчання. Цей метод використовує геометричні характеристики QR-коду для визначення його розташування на зображенні, а потім використовує навчання вчителів для декодування інформації з QR-коду. Для навчання використовуються великі набори даних QR-кодів, що дозволяє досягти високої точності декодування.

4.4 Майбутні напрямки досліджень

На сьогоднішній день, розпізнавання QR-кодів є важливою технологією в багатьох галузях, включаючи логістику, рекламу, маркетинг, та інше. Однак, відомо, що розпізнавання QR-кодів може бути складним завданням через варіації освітлення, перспективи та спотворень. Нижче перераховано деякі з поточних викликів та майбутніх напрямків досліджень розпізнавання QR-кодів:

- покращення точності та ефективності: один з основних викликів полягає у покращенні точності та ефективності розпізнавання QR-кодів в умовах, коли вони знаходяться під впливом варіацій освітлення, перспективи та спотворень;

- розпізнавання QR-кодів в реальному часі: з метою забезпечення швидкого та точного розпізнавання QR-кодів в реальному часі потрібні більш ефективні методи та алгоритми;

- розпізнавання QR-кодів на великій відстані: для розпізнавання QR-кодів на великій відстані необхідні методи, які можуть працювати з віддаленими зображеннями з високою точністю та ефективністю;

- розпізнавання QR-кодів з використанням різних типів камер: у зв'язку з тим, що QR-коди можуть скануватися з різних пристроїв, включаючи камери на смартфонах та інших пристроях, потрібні методи, які можуть взаємодіяти з різними типами камер та датчиків зображення;

- використання методів машинного навчання: методи машинного навчання можуть бути використані для покращення точності та ефективності розпізнавання QR-кодів. Наприклад, глибокі нейронні мережі можуть використовуватися для розпізнавання QR-кодів в різних умовах освітлення та перспективи, зокрема з недостатньою кількістю зразків для навчання. Крім того, можуть бути використані методи передобробки даних, що допоможуть видалити шум та інші перешкоди, що можуть впливати на якість розпізнавання QR-кодів.

Також можуть бути використані алгоритми машинного навчання для автоматичного налаштування параметрів розпізнавання QR-кодів, таких як поріг

бінаризації, параметри сегментації та інші. Це може зменшити час, необхідний для налаштування алгоритмів розпізнавання та поліпшити їх ефективність.

Інші напрями досліджень включають розробку методів, які здатні впоратися з спотвореннями та іншими варіаціями QR-кодів, такими як часткові перекриття, зламані кути та інші. Також можуть бути розроблені методи для зменшення споживання ресурсів комп'ютера під час розпізнавання QR-кодів, зокрема шляхом використання механізмів кешування та інших оптимізаційних методів.

Загалом, застосування методів машинного навчання може відкрити нові можливості для покращення якості та ефективності розпізнавання QR-кодів та розширення їх застосування в різних сферах.

Крім того, існує потреба у розробці нових методів для розпізнавання QR-кодів, що можуть працювати з високошвидкісними камерами, що забезпечують велику кількість кадрів в секунду, та у зменшенні часу обробки зображень, щоб забезпечити миттєву реакцію на розпізнавання QR-кодів у реальному часі.

Одним з напрямків досліджень є розробка методів глибинного навчання для розпізнавання QR-кодів, які можуть бути більш точними та ефективними в роботі з великою кількістю зображень, включаючи ті, що містять різноманітні спотворення. Крім того, дослідження в області геометричних методів розпізнавання можуть допомогти у зменшенні впливу перспективних спотворень та інших деформацій на точність розпізнавання.

Для подальшого розвитку цієї технології також потрібно дослідження в області захисту від підробки та підвищення надійності QR-кодів у цілому. Це може включати розробку методів, що дозволяють забезпечити надійну автентифікацію QR-кодів та перевірку їх валідності, а також удосконалення самого стандарту QR-кодів для запобігання можливих атак.

Також необхідно враховувати розвиток мобільних технологій та забезпечити сумісність QR-кодів з новими пристроями та операційними системами, зокрема розробляти спеціальні додатки для зручної та швидкої роботи з QR-кодами.

5 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

5.1 Опис експерименту

QRCodeDetector в OpenCV працює за допомогою алгоритму, що базується на роботі з геометричними особливостями QR-кодів. OpenCV використовує алгоритм виявлення QR-кодів, що ґрунтується на методі локалізації особливих властивостей QR-кодів, зокрема трьох кутових маркерів, розташованих в верхніх лівому та правому та нижньому лівому кутах.

Процес виявлення QR-кодів розбито на кілька основних етапів:

- попередня обробка зображення: зображення перетворюється в сіре для спрощення подальшого аналізу;
- бінаризація зображення: застосовується адаптивний поріг для відокремлення потенційних маркерів QR-коду від фону;
- виявлення маркерів: застосовується метод знайдення контурів для виявлення потенційних маркерів QR-коду, які відрізняються своєю геометричною структурою (вони мають вигляд "квадрата в квадраті");
- виявлення та декодування QR-коду: після виявлення маркерів вони використовуються для локалізації QR-коду, що його може бути розкрито та декодовано.

Модель, яку використовує OpenCV для QRCodeDetector, не є навченою моделлю машинного навчання, а скоріше алгоритмом, заснованим на обробці зображень та виявленні геометричних особливостей.

5.2 Моделювання

Під час розробки програмного забезпечення було розроблено код, який буде описано нижче.

Для створення об'єкту в детекторі використовується наступний фрагмент коду:

```
qcd = cv2.QRCodeDetector()
```

Наступний рядок коду призначений для отримання доступу до певної відеокамери користувача:

```
cap = cv2.VideoCapture(0)
```

Далі було розроблено основну функцію, яка отримує на вході фрейм з камери, повертає декодовані дані (наприклад, посилання, яке вшите в QR код), а також точки, які описують багатокутник з областю QR коду:

```
while True:
    ret, frame = cap.read()

    if ret:
        ret_qr, decoded_info, points, _ = qcd.detectAndDecodeMulti(frame)
        if ret_qr:
            for s, p in zip(decoded_info, points):
                if s:
                    print(s)
                    color = (0, 255, 0)
                else:
                    color = (0, 0, 255)
                frame = cv2.polylines(frame, [p.astype(int)], True, color,
8)
            cv2.imshow(window_name, frame)

    if cv2.waitKey(delay) & 0xFF == ord('q'):
        break
```

Для перетворення zip двох масивів в один масив кортежів використовується наступний фрагмент коду:

```
for s, p in zip(decoded_info, points):
```

Це зроблено для того, щоб можна було зручно попарно ітеруватись в циклі, s та p – це елементи з відповідних масивів, які стоять на однакових індексах.

Далі функція виконує умови `if` циклу, який виявляє яким кольором буде зафарбовуватись багатокутна рамка. В даному сценарії використовується зелений колір, якщо в QR коді міститиметься якась інформація, або червоний колір, якщо QR код не несе в собі жодних даних.

Наступний рядком коду оновлює фрейм з камери з намальованою на ньому рамкою:

```
frame = cv2.polylines(frame, [p.astype(int)], True, color, 8)
```

Для відмалювання у віконці поточного фрейму було додано наступний рядок коду:

```
cv2.imshow(window_name, frame)
```

І останнім, але не найменш важливим було розроблено наступний рядок коду, який в свою чергу відповідає за правильність відпрацювання згортання програми – за натисканням клавіші Q вікно буде закрито:

```
if cv2.waitKey(delay) & 0xFF == ord('q'):
```

Таким чином в ході даного експерименту було опрацьовано увесь функціонал та обробку необхідних етапів роботи QR сканера для користувача.

Даний додаток допомагає швидко та ефективно виконувати усі очікування юзерів та надає їм кінцевий результат у випадку вдалого відпрацювання, а також дає користувачам зрозуміти, коли виконання даної роботи неможливе.

5.3 Тестування

В ході тестування було перевірено позитивні та негативні кейси.

Так як було описано вище, дана програма опрацьовує як QR коди, які містять в собі закодовану інформацію, так і коди, які такої інформації під собою не мають. У першому випадку користувач зможе побачити це по наявності зеленої рамки навколо фрейму та відповідного результату відображеного одразу в консолі. У другому ж випадку, коли QR код не має жодної інформації, користувач побачить відповідну червону рамку навколо фрейму, та жодного нового результату не з'явиться в консолі.

На рисунку 5.1 приведено результат проведення позитивного тестування.

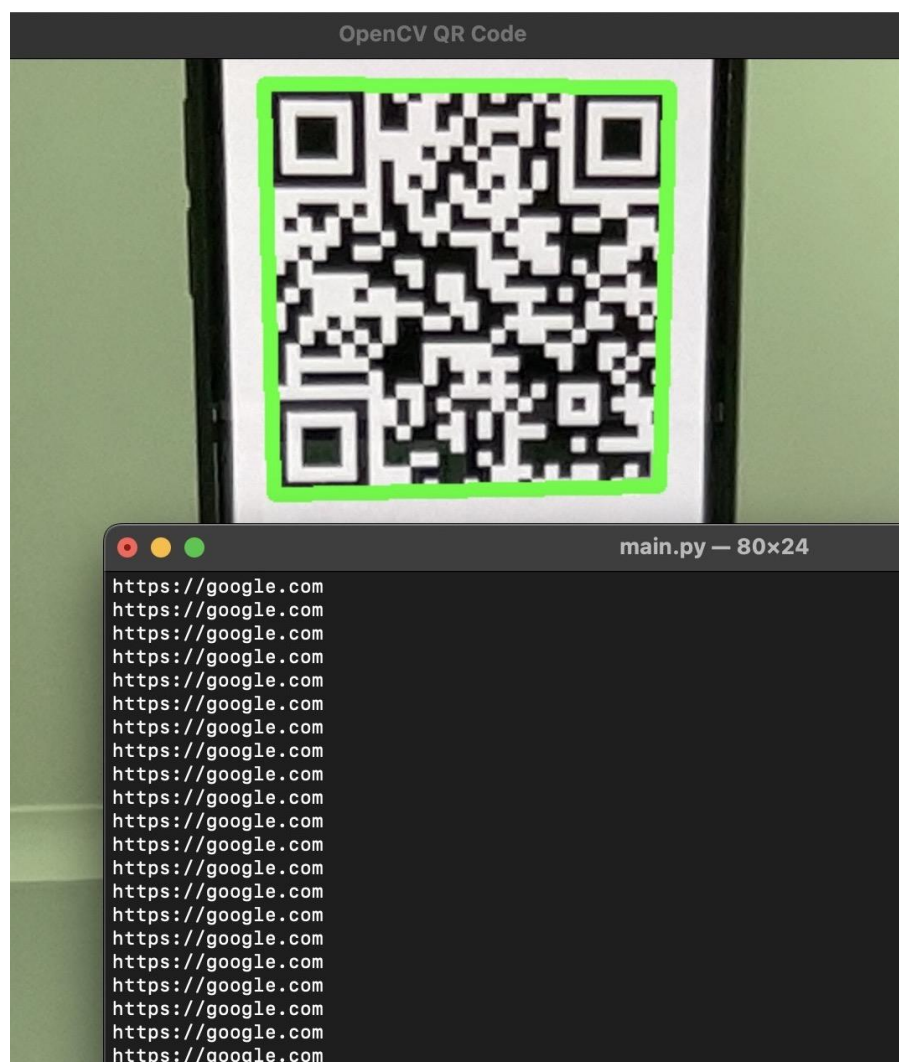


Рисунок 5.1 – Результат проведення позитивного тестування

На рисунку 5.2 приведено результат негативного тестування.

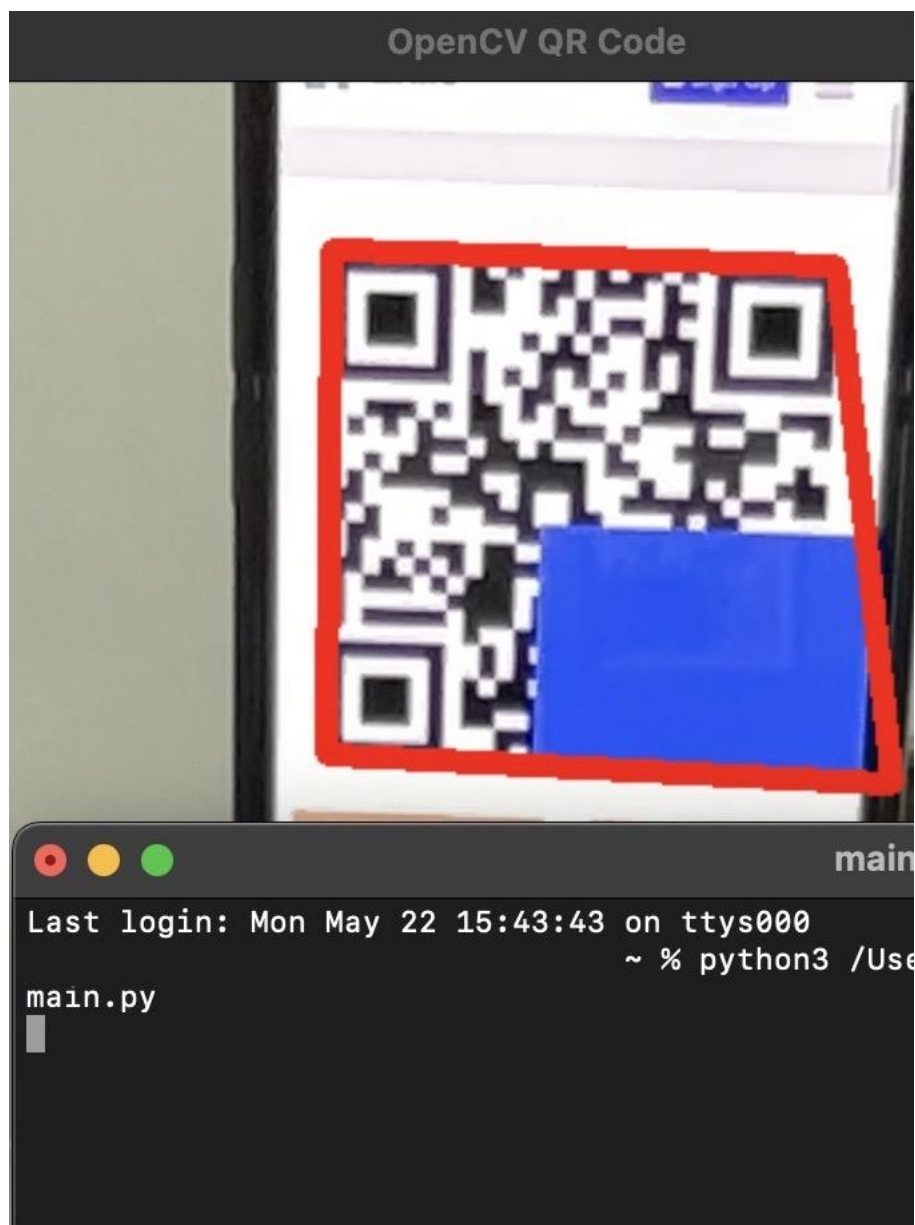


Рисунок 5.2 - Результат проведення негативного тестування

Таким чином можна зробити висновок, що розроблене програмне забезпечення виконує усі покладені на нього очікування та чудово справляється з поставленою задачею.

ВИСНОВКИ

В даній роботі були розглянуті різні методи та підходи до розпізнавання QR-кодів. Переваги та недоліки методів були вказані в підрозділах.

Одним з результатів роботи є розробка програмного забезпечення для локалізації та декодування QR кодів.

У результаті проведених досліджень можна зробити висновок, що найбільш ефективними методами розпізнавання QR-кодів є методи комп'ютерного зору на основі штучного інтелекту, які забезпечують високу швидкість і точність розпізнавання. Однак такі методи вимагають великої кількості ресурсів і спеціалізованого обладнання, що в деяких умовах може бути непрактичним.

Також було виявлено, що методи, засновані на геометричних характеристиках QR-коду, можуть забезпечити високу точність розпізнавання за певних умов. Однак такі методи можуть бути чутливими до змін у формі або розмірі QR-коду, а також до наявності дефектів у зображенні.

Також варто зазначити, що досягнення високої швидкості та точності розпізнавання QR-коду можна досягти шляхом поєднання різних методів та підходів, що дозволяє забезпечити оптимальний результат.

У майбутньому можливими напрямками досліджень є удосконалення методів розпізнавання QR-кодів за допомогою штучного інтелекту, розробка більш точних і швидких методів з використанням геометричних характеристик, удосконалення комбінованих методів.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Дубовицкая Л. В. QR код-революция в мире креолизованных текстов? //Вестник Московского государственного областного университета. – 2012. – №. 1. – С. 1-4.
2. Безвесільна О. М. и др. Застосування машинного зору та методів обробки зображення на виробництві //Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – Т. 3. – №. 4 (17).
3. Каплун А. А. Разработка программного средства для работы с QR-кодами. – 2017.
4. Бембель О. С. Застосування методу Віолі-Джонса для розпізнавання тривимірних об'єктів : дис. – КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.
5. G. Y. Shcherbakova, N. Bilous, V.N. Krylov: Methods of automated classification based on wavelet-transform for automated medical diagnostics. Shcherbakova, G.Y., Krylov, V.N., Bilous, N.V. 2015 Information Technologies in Innovation Business Conference, ITIB 2015 - Proceedings, 2015, pp. 7–10, 7355048 DOI: 10.1109/ITIB.2015.7355048.
6. Трохановський В. І., Трохановский В. И. Ансамблеві методи класифікації в машинному навчанні. – 2019.
7. Narayanan A. S. QR codes and security solutions //International Journal of Computer Science and Telecommunications. – 2012. – Т. 3. – №. 7. – С. 69-72.
8. Victor Krylov, Galina Shcherbakova, Radmila Pisarenko, Nataliya Bilous: Signal restoration by means of blind deconvolution based on optimization with wavelet transformation Shcherbakova, G., Krylov, V., Pisarenko, R., Bilous, N. 2016 3rd International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2016 - Proceedings [this link is disabled](#), 2017, pp. 21–23, 7905324 DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2016.7905324..

9. Al-Zahrani M. S., Wahsheh H. A. M., Alsaade F. W. Secure real-time artificial intelligence system against malicious QR code links //Security and Communication Networks. – 2021. – T. 2021. – C. 1-11., doi: 10.1155/2021/5540670

10. Kurniawan W. C. et al. An improvement on QR code limit angle detection using convolution neural network //2019 International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE). – IEEE, 2019. – T. 6. – C. 234-238., doi:10.1109/ICEEIE47180.2019.8981449

11. Chou T. H., Ho C. S., Kuo Y. F. QR code detection using convolutional neural networks //2015 International conference on advanced robotics and intelligent systems (ARIS). – IEEE, 2015. – C. 1-5.

12. Elgendy M., Guzsvinecz T., Sik-Lanyi C. Identification of markers in challenging conditions for people with visual impairment using convolutional neural network //Applied Sciences. – 2019. – T. 9. – №. 23. – C. 5110.

13. Zhang H. et al. Detection and identification method of medical label barcode based on deep learning //2018 Eighth International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA). – IEEE, 2018. – C. 1-6.

14. Hramm O, Bilous N, Ahekan I.: Configurable Cell Segmentation Solution Using Hough Circles Transform and Watershed Algorithm.In: 2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL) CAOL 2019 September 6-8, 2019, Sozopol, Bulgaria, USA: IEEE, 602-605. <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9002628/proceeding..>

15. Wang M. et al. Decoding Quadratic Residue Codes Using Deep Neural Networks //Electronics. – 2022. – T. 11. – №. 17. – C. 2717.

16. Yang Z. et al. Robust and fast decoding of high-capacity color QR codes for mobile applications //IEEE Transactions on Image Processing. – 2018. – T. 27. – №. 12. – C. 6093-6108.

17. Tribak H. et al. Remote QR code recognition based on HOG and SVM classifiers //2016 International Conference on Informatics and Computing (ICIC). – IEEE, 2016. – C. 137-141.

18. Tribak H., Zaz Y. QR code recognition based on principal components analysis method //International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2017. – T. 8. – №. 4.
19. Liu X., Tang X. Image authentication using QR code watermarking approach based on image segmentation //2020 IEEE 19th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom). – IEEE, 2020. – C. 1572-1577.
20. Garateguy G. J. et al. QR images: optimized image embedding in QR codes //IEEE transactions on image processing. – 2014. – T. 23. – №. 7. – C. 2842-2853., doi: 10.1109/TIP.2014.2321501
21. Bilous, N., O. Hramm, I. Ahebian, A. T. Khudhair, L. Illyashenko, A. Nerukh: Numerical Error Analysis For Configurable Cell Segmentation Problem /ESKİŞEHİR TECHNICAL UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY A-APPLIED SCIENCES AND ENGINEERING, 2019, Vol: 20, pp. 193 — 205.
22. Zhang W., Yang T. An Improved Algorithm for QR Code Image Binarization //2014 International Conference on Virtual Reality and Visualization. – IEEE, 2014. – C. 154-159., doi: 10.1109/ICVRV.2014.51
23. Liao Z. et al. A method of image analysis for QR code recognition //2010 International Conference on Intelligent Computing and Integrated Systems. – IEEE, 2010. – C. 250-253.
24. Wu Y., Yu S., Yang M. Quick Response Code Binary Research Based on Basic Image Processing //Sens. Mater. – 2019. – T. 31. – C. 859-871.
25. Li M. et al. The research of QR code image correction based on image gray feature //2017 First International Conference on Electronics Instrumentation & Information Systems (EIIS). – IEEE, 2017. – C. 1-5., doi: 10.1109/EIIS.2017.8298583
26. Gu Y., Zhang W. QR code recognition based on image processing //international conference on information science and technology. – IEEE, 2011. – C. 733-736.

27. Chen Q. et al. Fast QR code image process and detection //Internet of Things: International Workshop, IOT 2012, Changsha, China, August 17-19, 2012. Proceedings. – Springer Berlin Heidelberg, 2012. – C. 305-312., doi: 10.1007/978-3-642-32427-7_42

28. Shcherbakova, G., Krylov, V., Logvinov, O., Bilous, N: Shcherbakova, G., Krylov, V., Logvinov, O., Bilous, N. Adjustment of wavelet function parameters for analysis of non-stationary periodic signals with multistart optimization 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017 – Proceedings, 2018.

29. Klimek G., Vamossy Z. QR code detection using parallel lines //2013 IEEE 14th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI). – IEEE, 2013. – C. 477-481., doi: 10.1109/CINTI.2013.6705244.