

Волошко А.В., Макаренко А.О., д.т.н.

ВИКОРИСТАННЯ СЕНСОРНИХ ПРИСТРОЇВ У ПОЄДНАННІ З АЛГОРИТМАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ СИСТЕМ ВІДСЛІДКУВАННЯ РУХУ

Voloshko A.V., Makarenko A.O. Using sensor devices in combination with computer vision algorithms to improve motion tracking systems. The article investigates the integration of sensor devices with computer vision algorithms to improve motion tracking systems. The article shows the feasibility of using different types of computer vision algorithms, each of which plays a special role in improving the performance of motion tracking systems. This makes it possible to create motion tracking systems that provide high accuracy, speed, and reliability. Moreover, such systems can work in different lighting conditions and with different types of objects. Computer vision algorithms can detect motion in video images regardless of lighting conditions, and motion sensors can help detect and track objects even in limited visual conditions. A comparative analysis of sensor devices and computer vision algorithms, their type of operation and feasibility of application was performed. We also developed our own face tracking algorithm written in the Python programming language.

Keywords: motion sensor, sensor devices, computer vision algorithms, Python, face tracking

Волошко А.В., Макаренко А.О. Використання сенсорних пристроїв у поєднанні з алгоритмами комп'ютерного зору для покращення систем відслідковування руху. У статті досліджено інтеграцію сенсорних пристроїв з алгоритмами комп'ютерного зору для покращення систем відслідковування руху. Показано доцільності застосувань різних типів алгоритмів комп'ютерного зору кожен з яких відіграє особливу роль в покращенні роботи систем відслідковування руху. Це дозволяє створювати системи відслідковування руху, які забезпечують високу точність, швидкість та надійність. Більше того, такі системи можуть працювати в різних умовах освітлення та з різними типами об'єктів. Алгоритми комп'ютерного зору можуть виявляти рух на відео-зображеннях незалежно від умов освітлення, а датчики руху можуть допомагати у виявленні та відстеженні об'єктів навіть при обмежених візуальних умовах. Виконано порівняльний аналіз сенсорних пристроїв та алгоритмів комп'ютерного зору, їх тип роботи та доцільність застосування. Також було розроблено власний алгоритм відслідковування обличчя написаний на мові програмування Python з використанням сенсорного пристрою відеокамери.

Ключові слова: датчик руху, сенсорні пристрої, алгоритми комп'ютерного зору, Python, відслідковування обличчя

Вступ

В останні десятиріччя спостерігається стрімкий розвиток технологій комп'ютерного зору та сенсорних пристроїв, що відкриває широкі можливості для покращення систем відслідковування руху. Системи відслідковування руху відіграють ключову роль у багатьох сферах, включаючи відеоспостереження, медицину, транспорт, віртуальну реальність та багато інших. Використання датчиків руху та відеокамер у поєднанні з алгоритмами комп'ютерного зору є одним із перспективних напрямків для підвищення точності, швидкості та надійності систем відслідковування руху.

Завдяки стрімкому розвитку технологій комп'ютерного зору та сенсорних пристроїв, виникає нове покоління систем відслідковування руху, які використовують сенсорні пристрої у поєднанні з алгоритмами комп'ютерного зору для досягнення вищого рівня точності, швидкості та надійності. Загалом, історія сенсорних пристроїв відображає безперервний розвиток технологій, зумовлений потребою у більш надійних, ефективних та універсальних методах виявлення руху. Сенсорні пристрої бувають різних типів, кожен з яких використовує різні технології для виявлення руху. Кожен тип має свої переваги та обмеження, і вибір пристрою залежить від конкретних вимог застосування, таких як дальність виявлення, чутливість, умови навколишнього середовища та міркування щодо вартості.

Сьогодні датчики руху та відеокамери відіграють життєво важливу роль у багатьох сферах застосування, починаючи від безпеки та автоматизації і закінчуючи робототехнікою та

охороною здоров'я. Датчики руху відображають реальні фізичні рухи, що змінюють своє положення чи орієнтацію в просторі, і перетворюють їх на електричний сигнал, який можна інтерпретувати комп'ютером. На відміну від датчика руху відеокамери – це електронні пристрої, призначені для запису відео та звуку. Відеокамери можуть бути різних типів і конструкцій, від простих кишенькових камер для особистого використання до професійних камер з великими об'єктивами для створення кінофільмів. Однак основний принцип їх роботи залишається майже незмінним - захоплення та збереження відео- та аудіосигналів.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз останніх публікацій та подій показує, що науковці та розробники всього світу активно ведуть дослідження в сфері використання алгоритми комп'ютерного зору для покращення систем відслідковування руху використовуючи різне обладнання в тому числі відеокамери і датчики руху.

Так наприклад у статті [1] оцінюється використання комбінованої згортової нейронної мережі (CNN) [3] та алгоритм Байєса [2] на предмет точності та надійності для правильної ідентифікації справжніх тригерів тривоги. У статті [3] йдеться про кілька методів, які можна використовувати для виявлення руху, і показано, як написати кожен з них з нуля на мові Python. Стаття [4] представляє дизайн смарт-пікселя та оцінює його продуктивність за допомогою постпаразитного вилучення на 0,35 мкм КМОП-процесі зі змішаним сигналом. У статті [5] розглядаються основи комп'ютерного зору, включаючи отримання зображень, попередню обробку та методи виділення ознак. Досліджується застосування комп'ютерного зору для ідентифікації та класифікації хвороб, висвітлюються переваги та виклики, пов'язані з цими методами.

На основі аналізу літературних даних, наукових статей було зроблено висновок, що використання сенсорних пристроїв у поєднанні з алгоритмами комп'ютерного зору для покращення систем відслідковування руху є незупинним процесом в різних сферах життя, а особливо в військовій галузі. На сьогоднішній день немає однозначної системи яка б використовувалась ефективно для різних задач. Системи які використовуються на сьогоднішній день в галузі безпеки, автоматизації, робототехніки та охорони здоров'я не є досить ефективними в усіх процесах.

Метою роботи є аналіз алгоритмів комп'ютерного зору для покращення систем відслідковування руху з використанням сенсорних пристроїв.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Системи відслідковування руху є важливою складовою в різних сферах, включаючи безпеку, медицину, автоматизацію промислових процесів, віртуальну реальність, ігрову індустрію та багато інших. Принцип їх роботи полягає у виявленні та відстеженні рухомих об'єктів в реальному часі за допомогою різних сенсорів та алгоритмів обробки даних.

Також слід зазначити, що терміни "відслідковування руху", "захоплення руху" та "аналіз руху", які використовуються разом хоча вони і пов'язані між собою, але кожен з них виконує свою унікальну роль.

Відслідковування руху – це відстеження руху в просторі. До його ключових моментів можна віднести:

- Виявлення об'єктів: Першим кроком у відслідковуванні руху є виявлення об'єктів, що цікавлять нас, у початковому кадрі відеопослідовності. Цього можна досягти за допомогою алгоритмів виявлення об'єктів, які локалізують і класифікують об'єкти на зображенні.
- Виділення ознак: Після виявлення об'єктів з кожного об'єкта виділяються ознаки, які дозволяють його однозначно ідентифікувати. Це можуть бути точки, краї, кути або інші характерні особливості, які можна відстежити на кадрах.
- Оцінка руху: На наступних кадрах вилучені ознаки зіставляються та корелюються з їхніми аналогами з попереднього кадру, щоб оцінити рух об'єктів. Для оцінки руху

використовуються різні методи, такі як оптичний потік, зіставлення ознак і зіставлення шаблонів.

- Алгоритми відстеження: Існують різні алгоритми відстеження, які використовуються для відстеження об'єктів у часі. Ці алгоритми включають фільтри Калмана [6], фільтри частинок, відстеження середнього зсуву, кореляційне відстеження та трекери на основі глибокого навчання. Кожен алгоритм має свої сильні та слабкі сторони, залежно від таких факторів, як зовнішній вигляд об'єкта, характеристики руху та обчислювальна ефективність.
- Об'єднання даних: Методи асоціації даних використовуються для зв'язування ознак або виявлених об'єктів між послідовними кадрами, забезпечуючи встановлення правильних відповідностей. Це має вирішальне значення для збереження безперервності треків і уникнення дрейфу треків або хибних асоціацій.
- Прогностичне моделювання: Деякі алгоритми відстеження включають прогностичні моделі для передбачення майбутнього положення об'єктів на основі їхнього поточного стану та історії руху. Прогностичні моделі допомагають підвищити точність відстеження, особливо у випадках оклюзії або швидкого руху.
- Оцінка ефективності: Системи відстеження руху оцінюються за такими критеріями, як точність відстеження, стійкість до оклюзії та завад, обчислювальна ефективність та продуктивність у реальному часі. Показники оцінки включають похибку відстеження, точність, відстеження та швидкість відстеження.

Захоплення руху – це акт запису руху. Це робиться за допомогою камер або датчиків, які фіксують рух для створення цифрової моделі.

Аналіз руху потім бере ці рухи і вивчає їх. Його зазвичай використовують у спорті для покращення результатів або в охороні здоров'я для аналізу рухів з метою реабілітації.

Отже, захоплення руху – це запис руху, відслідковування руху – це відстеження руху, а аналіз руху – це його вивчення. Цікаво, що ці окремі процеси можна легко об'єднати в одне комплексне рішення.

Завдяки штучному інтелекту відслідковування руху стало більш досконалим і зручним для користувача. ШІ дозволяє аналізувати рухи в реальному часі, не потребуючи фізичних датчиків або складних налаштувань. Це неймовірно корисно в таких сферах, як фітнес і здоров'я, де відстеження рухів можна здійснювати просто за допомогою смартфонів або комп'ютерів. Така гнучкість і простота використання роблять відслідковування рухів доступним і потужним інструментом.

Сенсорні пристрої та алгоритми комп'ютерного зору грають важливу роль у системах відслідковування руху. Їх комбінація може створювати потужні системи не тільки у відслідковуванні, а і розпізнавання та аналізу об'єктів у реальному часі. До сенсорних пристроїв та алгоритмів комп'ютерного зору які є найбільш популярними та ефективними можна віднести:

1. Камери (RGB та RGB-D):

Камери здатні зафіксувати відео-зображення об'єктів у реальному часі. RGB-D камери додатково забезпечують інформацію про глибину об'єктів у зображенні. Одним з основних використань камер є забезпечення безпеки та спостереження в об'єктах, таких як будинки, офіси, магазини, громадські місця, а також на вулицях міст. Вони допомагають у виявленні злочинів, моніторингу активності та відслідковуванні подій. При виборі камери для застосування в алгоритмах розпізнавання слід враховувати ряд важливих параметрів, які можуть впливати на якість розпізнавання та ефективність системи. Існує кілька різних типів камер, кожен з яких має свої особливості та властивості. Деякі з них можуть бути більш ефективними для роботи з системами відслідковування руху в порівнянні з іншими. Ось кілька типів камер, які найкраще підходять для роботи системами відслідковування руху:

- Камери з високою роздільною здатністю
- Камери з великим динамічним діапазоном
- Камери з високою кадровою частотою
- Камери з підтримкою інтелектуальних функцій
- Камери з інфрачервоним спектром

2. Датчики руху:

Датчики руху виявляють рух об'єктів відносно їх позиції або середовища. Вони можуть бути вбудовані у смартфони, роботів, системи безпеки тощо. Існує кілька типів датчиків руху, які можна використовувати для роботи з системами відслідковування руху. Кожен тип має свої особливості та властивості, які можуть бути корисними для конкретних застосувань. Ось деякі з найпоширеніших типів датчиків руху

- Інфрачервоні датчики руху
- Мікрохвильові датчики руху
- Ультразвукові датчики руху (рис. 1)
- Візуальні (камерні) датчики руху

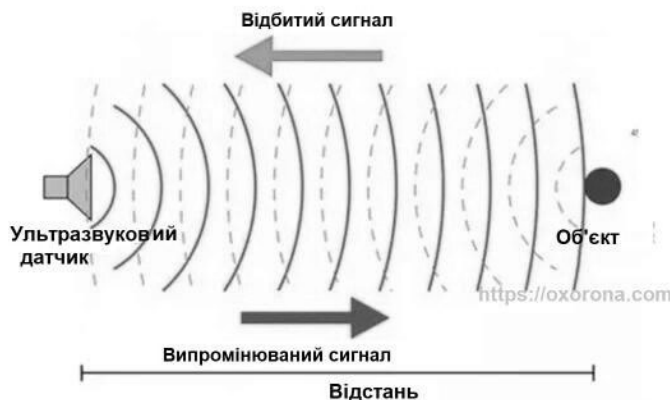


Рис. 1. Приклад роботи ультразвукового датчика руху

Кожен з цих типів датчиків руху може бути використаний у системах відслідковування руху залежно від конкретних потреб та умов. Наприклад, камерні датчики руху можуть бути корисними для реалізації систем розпізнавання облич, тоді як інфрачервоні датчики руху можуть бути кращим варіантом для систем безпеки в нічний час.

Алгоритми комп'ютерного зору:

- Виявлення облич: Алгоритми виявлення облич можуть ідентифікувати та відстежувати обличчя людей на зображеннях або відео (рис. 2). Виявлення облич – це перший і найважливіший етап процесу розпізнавання облич [7], який використовується для ідентифікації облич на фотографіях. Вона є компонентом виявлення об'єктів і має застосування в різних сферах, включаючи безпеку, біометрію, правоохоронну діяльність, розваги та особисту безпеку, серед інших [8].
- Виявлення та відстеження об'єктів: Алгоритми виявлення та відстеження об'єктів дозволяють виявляти та відстежувати рух об'єктів у відео-зображеннях [9].
- Розпізнавання жестів: Ці алгоритми дозволяють розпізнавати та інтерпретувати жести людей, такі як махання рукою, показ великого пальця тощо (рис 3). Алгоритми розпізнавання жестів мають на меті інтерпретувати людські жести, які зазвичай фіксуються за допомогою датчиків, таких як камери або датчики руху, і перетворювати їх на команди або дії. Ці алгоритми широко використовуються в різних додатках, таких як взаємодія людини з комп'ютером, розпізнавання мови жестів, віртуальна реальність та ігри.

- Відстеження руху: Алгоритми відстеження руху використовуються для аналізу та відстеження рухів об'єктів на основі даних з сенсорів. Вони лежить в основі різних сучасних програм штучного інтелекту і лежить в основі кількох революційних технологій, таких як безпілотні автомобілі, системи спостереження і розпізнавання дій. Алгоритми відстеження використовують комбінацію виявлення об'єктів і відстеження об'єктів для виявлення і локалізації об'єктів у відеокадрі. Ці алгоритми варіюються від базового машинного навчання до складних мереж глибокого навчання. Кожен з них має різні реалізації та варіанти використання [10].

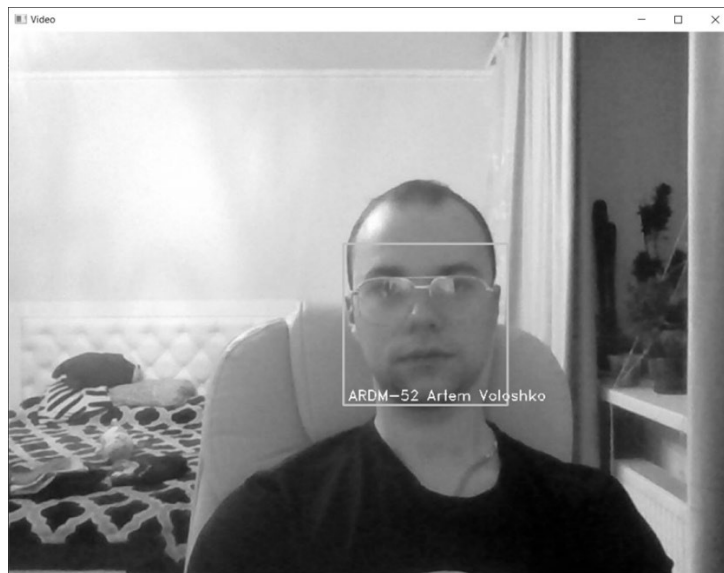


Рис. 2. Приклад роботи алгоритму розпізнавання обличчя

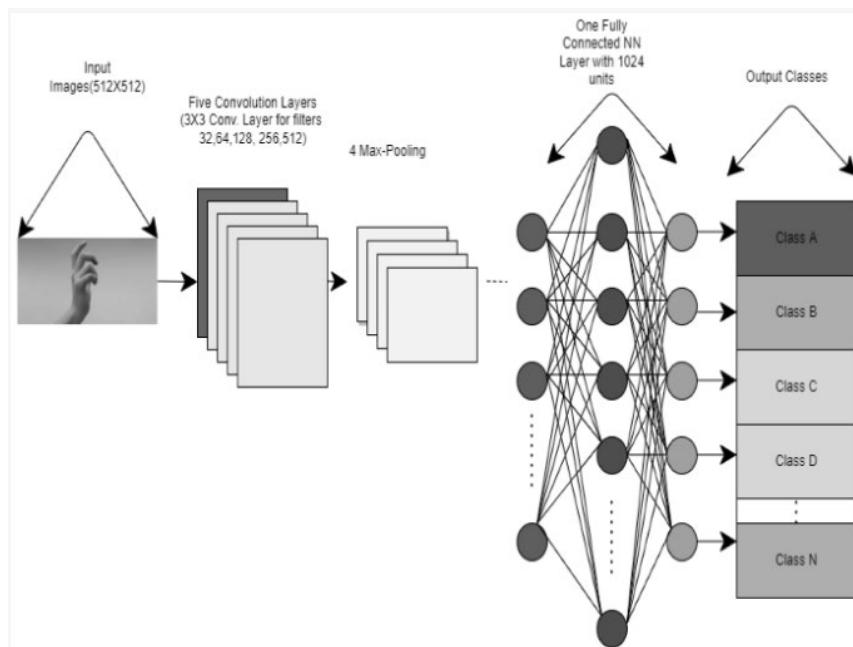


Рис. 3. Архітектура роботи алгоритму розпізнавання жестів

Застосування сенсорних пристроїв і алгоритмів комп'ютерного зору має різноманітні причини та може бути дуже ефективним у різних сферах [11]. Основні причини застосування таких системи можуть бути різними, наприклад:

- Покращення безпеки: Системи відслідковування руху можуть допомогти виявляти та реагувати на підозрілі або небажані рухи в системах безпеки, таких як системи відеоспостереження та контролю доступу.
- Автоматизація та оптимізація виробництва: Використання сенсорів і алгоритмів комп'ютерного зору в промисловості дозволяє автоматизувати процеси виробництва, виявляти дефекти, відстежувати та контролювати рух робочих елементів.
- Здоров'я та медицина: Відстеження руху може використовуватися у медичних дослідженнях для діагностики рухових порушень, реабілітації пацієнтів та моніторингу фізичної активності.
- Віртуальна реальність та ігри: Використання сенсорів та алгоритмів комп'ютерного зору дозволяє користувачам взаємодіяти з віртуальним середовищем та контролювати дії персонажів у відеоіграх.

Маючи різні проблеми в різних сферах діяльності використання системи відслідковування руху які в свою чергу використовують датчики руху у поєднанні з алгоритмами комп'ютерного зору може покращити різні показники як наприклад:

- Точність та швидкість: Сучасні сенсорні пристрої та алгоритми комп'ютерного зору забезпечують високу точність відслідковування руху та швидку реакцію на зміни у середовищі.
- Автоматизація та ефективність виробництва: Застосування сенсорів і алгоритмів комп'ютерного зору у промисловості дозволяє оптимізувати виробничі процеси, знижувати витрати та підвищувати якість продукції.
- Покращення безпеки та моніторингу: Відслідковування руху дозволяє оперативно реагувати на небажані події та покращує ефективність систем безпеки та моніторингу.
- Підвищення якості життя: Застосування сенсорних пристроїв та алгоритмів комп'ютерного зору у медицині та реабілітації може покращити якість життя людей, допомагаючи їм відновити рухові функції та моніторити їх здоров'я.

Розробка алгоритму відслідковування обличчя на мові програмування Python.

Алгоритм відслідковування обличчя – це програмний метод, призначений для автоматичного визначення та відстеження облич людей на зображеннях або в відеопотоці. Це важлива складова багатьох систем розпізнавання облич, відеоспостереження, а також для створення відтворення облич у віртуальній реальності та інших додатках.

Алгоритми відслідковування облич можуть використовувати різні техніки, включаючи:

- Виявлення облич: Спочатку алгоритм шукає обличчя на вхідних зображеннях або кадрах відео. Це може бути здійснено за допомогою методів виявлення облич, таких як метод каскадів Хаара або застосування нейронних мереж.
- Відслідковування руху облич: Після виявлення облич алгоритм може відслідковувати їх рух на послідовних кадрах відео. Це дозволяє визначити переміщення облич та визначити їхні нові положення.
- Виділення особливих ознак: Деякі алгоритми можуть виділяти особливі ознаки облич, такі як очі, ніс, рот тощо, щоб отримати більш деталізовану інформацію про обличчя та їхні рухи.
- Відстеження меж облич: Для кожного обличчя алгоритм може відстежувати контури та межі, щоб забезпечити більш точне відслідковування та аналіз форми та руху облич.

Загалом, алгоритми відслідковування облич використовуються для автоматичного виявлення, відстеження та аналізу рухів облич на зображеннях або відео, що дозволяє застосовувати їх в різних областях, включаючи безпеку, рекламу, розваги та багато іншого.

Для розробки алгоритму відслідковування обличчя було обрано мову програмування Python.

Python є однією з найпоширеніших мов програмування для комп'ютерного зору завдяки своїй простоті, читабельності та широкій екосистемі бібліотек і фреймворків. Загалом, простота, читабельність, широка підтримка бібліотек та активна спільнота роблять Python потужною та популярною мовою програмування для широкого спектру застосувань. Її зручний синтаксис та багата екосистема продовжують приваблювати розробників та організації по всьому світу.

Написаний алгоритм використовує бібліотеку OpenCV для роботи з відеозображеннями і класифікатори облич Haar. Виявлення об'єктів за допомогою каскадних класифікаторів на основі ознак Haar – це ефективний метод виявлення об'єктів який заснований на машинному навчанні, де каскадна функція навчається на великій кількості позитивних і негативних зображень. Потім вона використовується для виявлення об'єктів на інших зображеннях. Обличчя визначаються як прямокутні області і позначаються прямокутниками на кадрах відеопотоку (рис. 4).



Рис. 4. Приклад роботи алгоритму відслідковування облич

Системи відслідковування руху широко поширені в різних сферах, включаючи безпеку, охорону здоров'я, автоматизацію, ігри тощо [12 - 13]. Інтеграція сенсорних пристроїв з алгоритмами комп'ютерного зору дозволяє точно виявляти і відстежувати рухомі об'єкти або людей в режимі реального часу. Така комбінація пропонує кілька переваг, таких як посилений моніторинг безпеки, точне відстеження об'єктів, розпізнавання жестів та імерсивний ігровий досвід. Датчики руху надають дані про рух, відеокамери передають відеозображення, а алгоритми комп'ютерного зору аналізують ці дані для вилучення значущої інформації, такої як положення, траєкторія і поведінка об'єктів або людей. Разом вони уможливають такі додатки, як керування освітленням на основі руху, інтерфейси на основі жестів, розпізнавання людської активності та інтерактивні віртуальні середовища. Об'єднання даних з датчиків руху та комп'ютерного зору дозволяє досягти більш точного виявлення та відстеження рухомих об'єктів. Поєднання декількох датчиків та відеокамер зменшує ймовірність помилкових спрацьовувань і підвищує загальну надійність системи. Інтеграція сенсорних пристроїв та

комп'ютерного зору дозволяє системам динамічно адаптуватися до змін у навколишньому середовищі або поведінки користувачів. Наприклад, камери безпеки, оснащені обома технологіями, можуть налаштовувати фокус або алгоритми стеження на основі виявлених патернів руху. Використовуючи датчики руху для активації алгоритмів комп'ютерного зору, системи можуть оптимізувати використання ресурсів та енергоефективність. Такий підхід гарантує, що обчислювальні ресурси виділяються тільки тоді, коли це необхідно, знижуючи загальне енергоспоживання і операційні витрати.

Загалом, синергія між сенсорними системами і комп'ютерним зором являє собою синергетичний підхід до сприйняття і відчуття, що дозволяє створювати більш інтелектуальні, адаптивні і чутливі системи в різних сферах застосування.

Висновки

В роботі був розроблений алгоритм відслідковування обличчя який написаний на мові програмування Python. Запропонований алгоритм показав свою ефективність і доцільність застосування із системами відслідковування руху. Використання відеокамери із розробленим алгоритмом більш точне та надійне виявлення та відстеження рухомих об'єктів у режимі реального часу. Поєднуючи дані з відеокамери та комп'ютерного зору, системи можуть динамічно адаптуватися до змін у навколишньому середовищі чи поведінці користувачів.

У статті проведено аналіз різних алгоритмів комп'ютерного зору та сенсорних пристроїв за допомогою яких системи відслідковування руху набувають більшої ефективності. Комбінування сенсорних пристроїв і алгоритмів комп'ютерного зору дозволяє створювати потужні та універсальні системи відслідковування та аналізу руху в реальному часі, які можуть бути застосовані в різних галузях. Поєднання датчиків руху або відеокамер та алгоритмів комп'ютерного зору революціонує багато сфер, покращує системи безпеки, роблячи їх більш чутливими до потенційних загроз шляхом точного виявлення та відстеження зловмисників.

Зважаючи на те, що кількість застосувань системи відслідковування руху постійно зростає та постійно розвивається, використання невідповідних методів пошуку може зробити систему обробки неефективною і може мати від цього невіправні наслідки. Тому синергія сенсорних пристроїв із алгоритмами комп'ютерного зору продовжує стимулювати інновації, відкриваючи нові можливості для інтелектуальних та адаптивних систем у різних галузях.

Список використаної літератури:

1. Human Activity and Motion Pattern Recognition within Indoor Environment Using Convolutional Neural Networks Clustering and Naive Bayes Classification Algorithms. MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/3/1016>
2. What Are Naïve Bayes Classifiers? | IBM. IBM in Deutschland, Österreich und der Schweiz. URL: <https://www.ibm.com/topics/naive-bayes>
3. Craig L., Awati R. What is a convolutional neural network (CNN)?. Enterprise AI. URL: <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/convolutional-neural-network>
4. Motion-Based Object Location on a Smart Image Sensor Using On-Pixel Memory. PubMed Central (PMC). URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9460117/>
5. Computer Vision and Agricultural Robotics for Disease Control. ResearchGate URL: https://www.researchgate.net/publication/379067228_Computer_Vision_and_Agricultural_Robotic_s_for_Disease_Control
6. KALMAN FILTER FROM THE GROUND UP, Alex Becker, 50 (2023)
7. Computer Vision and Image Analysis for Industry 4.0, Taylor & Francis, 197 (2023)
8. 4 Popular Face Detection Methods. Plugger - Automate your design work with AI and increase your growth! URL: <https://www.plugger.ai/blog/4-popular-face-detection-methods>

9. Top 10 Video Object Tracking Algorithms in 2024. The Complete Data Development Platform for AI | Encord. URL: <https://encord.com/blog/video-object-tracking-algorithms/>
10. T. Mahalingam and M. Subramoniam, “Optimal object detection and tracking in occluded video using Dnn and gravitational search algorithm,” *Soft Computing*, vol. 24, no. 24, pp. 18301–18320, 2020.
11. *Computer Vision in Vehicle Technology: Land, Sea & Air*. DOI. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118868065?SeriesKey=10.1002/9780470714249>
12. *Computer Vision for Structural Dynamics and Health Monitoring*. DOI. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119566557?SeriesKey=10.1002/9780470714249>
13. CLOUD-BASED TEMPERATURE MONITORING MECHANISM FOR COVID-19 PANDEMIC TRACKING | *Jurnal Teknologi*. UTM Press Journal Management powered by OJS. URL: <https://journals.utm.my/jurnalteknologi/article/view/17116>
14. Face recognition algorithm based on open CV. *IEEE Xplore*. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9639288>

Автори статті

Волошко Артем - студент, Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ, Україна.

Макаренко Анатолій - доктор технічних наук, професор, Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ, Україна.

Authors of the article

Voloshko Artem - student, State University of Information and Communication Technologies, Kyiv, Ukraine.

Makarenko Anatolii - Doctor of Science (technic), Professor, State University of Information and Communication Technologies, Kyiv, Ukraine.