

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ ТА КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПРИЦІЛЬНОГО ПОЖЕЖОГАСІННЯ

У роботі проведено аналіз моделі та методи обробки зображень для прицільного пожежогасіння, проведені експериментальні дослідження. Розроблено модель для розпізнавання образів диму та вогню, а також модель прицілювання та попадання рідиною у 3D-просторі. Для експериментальної перевірки розроблених моделей створено алгоритми вимірювання відстані та прицілювання, а також розрахунок тиску води.

Ключові слова: пожежогасіння, технічний зір, комп'ютерна система, прицілювання, обробка зображень, розпізнавання вогню та диму

Ефективне запобігання та ліквідація пожеж в сучасних умовах є ключовим завданням у сфері забезпечення безпеки об'єктів промислового та громадського призначення. Відповідно до вимог концепції Індустрія 5.0 є розвиток інтелектуальних систем пожежогасіння, заснованих на використанні технологій комп'ютерного зору та автоматизованого керування. Такі системи дозволяють мінімізувати збитки, завдані не тільки вогнем, а й засобами пожежогасіння, що особливо важливо для об'єктів, що охороняються, з високо цінними матеріальними активами, промисловими складськими комплексами та інфраструктурою.

Традиційні системи пожежогасіння, як правило, спрямовані на спрацювання по всій площі об'єкта, що охороняється, однак це призводить до рясного розбризкування води, піни або порошкових складових на всю територію. Нові інтелектуальні компоненти до таких систем пожежогасіння потребують аналізу та досліджень щодо сумісності елементів та принципів роботи. Розв'язання цієї задачі потребує розробки моделі прицільного пожежогасіння та дослідження її на адекватність та ефективність в реалізованій системі.

Обробка зображень є однією з ключових технологій у сфері робототехніки. Вона дозволяє роботам сприймати, аналізувати та реагувати на навколишнє середовище.

Використання алгоритмів комп'ютерного зору значно підвищує функціональність роботів у таких сферах, як автономна навігація, маніпуляція об'єктами, виявлення перешкод та взаємодія з людьми.

Алгоритми виявлення об'єктів у галузі обробки зображень є важливою складовою комп'ютерного зору. Вони дозволяють ідентифікувати, локалізувати та класифікувати об'єкти на зображеннях або у відеопотоках.

Основні моделі та методи обробки зображень включають класичні алгоритми та сучасні глибокі нейронні мережі. Їх використання у пожежогасінні, зокрема для прицілювання водяними гарматами, відкриває нові можливості для підвищення ефективності боротьби з вогнем.

Класичні моделі, такі як метод Хаара (Haar Cascades), базуються на виявленні локальних контрастів між зонами зображення. Він є ефективним для виявлення простих об'єктів, таких як обличчя або геометричні форми, але має обмеження у складних умовах, наприклад, за низької видимості або наявності шуму.

Методи SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) і SURF (Speeded-Up Robust Features) забезпечують виділення ключових точок зображення та їхню стійкість до змін масштабу та обертання. Вони корисні для 3D-реконструкції або порівняння об'єктів у різних кадрах. Однак обчислювальна складність цих методів може ускладнювати їх застосування у реальному часі, що є критичним для пожежогасіння.

Сучасні моделі глибокого навчання, такі як AlexNet, VGGNet і ResNet, забезпечують надзвичайно високу точність класифікації та виявлення об'єктів. AlexNet продемонструвала ефективність глибоких згорткових нейронних мереж CNN і стала основою для складніших моделей. ResNet, завдяки залишковим зв'язкам, вирішує проблему згасання градієнта в глибоких мережах, що робить її придатною для складних задач, таких як ідентифікація полум'я у диму. Для водяних гармат ResNet може бути використана для точного визначення зон загоряння.

Одностадійні моделі, як-от YOLO (You Only Look Once), є ефективними для задач реального часу, оскільки вони обробляють зображення за один прохід через мережу. Це дозволяє використовувати їх у відеопотоках для миттєвого виявлення полум'я та визначення його контурів навіть у складних умовах. YOLO демонструє високу швидкість, але може поступатися точністю у випадках, коли об'єкти частково перекриваються.

Faster R-CNN є двостадійною моделлю, яка пропонує високу точність завдяки поєднанню генерації регіонів-кандидатів і класифікації об'єктів. Ця модель особливо ефективна для локалізації вогнищ пожежі, але її використання у реальному часі може бути обмежене через високі обчислювальні витрати. Faster R-CNN підходить для завдань, де пріоритет надається точності, а не швидкості.

Сегментація зображень є важливим напрямом аналізу, що дозволяє визначати межі об'єктів на рівні пікселів. Модель U-Net, розроблена для медичних зображень, здатна точно відновлювати деталі завдяки архітектурі «енкодер-декодер». У контексті пожежогасіння U-Net може використовуватися для сегментації полум'я, дозволяючи виділити його окремі частини для прицілювання водяної гармати.

DeepLab, яка використовує атріумні згортки, забезпечує точну семантичну сегментацію навіть у складних середовищах, таких як міські сцени. Аналіз послідовностей у відеопотоках потребує методів, які враховують часову динаміку. Тривимірні згорткові нейронні мережі (3D-CNN) аналізують просторово-часові залежності, що дозволяє відстежувати рух полум'я. Рекурентні нейронні мережі (RNN) та їхні варіанти LSTM є ідеальними для прогнозування розвитку вогню, оскільки вони враховують контекст попередніх кадрів.

Реконструкція та покращення зображень, зокрема із використанням генеративних моделей, таких як GAN (Generative Adversarial Networks), є потужним інструментом для підвищення якості даних. GAN дозволяють генерувати реалістичні зображення та покращувати якість кадрів із низькою роздільною здатністю. У задачах пожежогасіння GAN можуть бути використані для обробки зображень із камер, встановлених у несприятливих умовах.

Методи аналізу зображень на основі комп'ютерного зору забезпечують високу точність і гнучкість у вирішенні різноманітних завдань, включаючи пожежогасіння. Сучасні моделі глибинного навчання дозволяють автоматизувати процеси виявлення та моніторингу, а також інтегрувати ці рішення у роботизовані системи, такі як водяні гармати. Основною складністю у практичному застосуванні є обчислювальні витрати та необхідність великих наборів даних для навчання, що вимагає спеціалізованого обладнання та відповідної інфраструктури з застосуванням нейромережевих технологій [1–3].

У ході дослідження з'ясувалось, що розпізнавання вогню та особливо диму, це нестандартна задача для стандартних бібліотек типу Open CV та навчання нейромереж. Розроблена та досліджена модель прицільного пожежогасіння з технічним зором, яка має в реалізації систему камер, а саме тепловізійну для надійної фіксації точок запалення. Тим самим знята проблема розпізнавання диму, так як будь-яке джерело диму має у своїй основі високу температуру, яка чітко фіксується тепловізорами.

Точне пожежогасіння пов'язане з задачею вимірювання відстані до точки запалення [3]. Експериментальне дослідження показало, що стандартні 3D-лідари не підходять для вимірювання відстані до вогню, тому що промінь лазера не відображається від полум'я, завдяки чому була взята система стереоскопічного паралаксу. Однак для необхідної точності виявилось, що база між стереокамерами повинна бути досить великою, крім того, тепловізійна стереокамера удорожчує систему.

Незвичною задачею стало попадання струменю води у точку запалення. Виявилось, що у 3D-просторі точна математика балістичної моделі не має простої формули, а треба виконувати чисельні розрахунки у вигляді ітераційних підходів. Проведені аналізи показали, що спрощення формули, у якій не враховується гравітаційний вплив, дають невелику помилку і на практиці вона не впливає істотно на результат. Крім того, з'ясувалось, що при деяких кутах ця невелика помилка у нахилі у вертикальній площині форсунки не впливає на координату точці попадання, що було досить незвично. Справа виявилась у тому, що кут нахилу форсунки впливає на тиск води всередині неї, завдяки чому будується такий незвичний ефект.

Введення системи зворотного зв'язку направлення струменю у вертикальній площині дійсно допомогло усунути помилки підрахунку нахилу форсунки під впливом різних механічних ухилень (тиск води, механічний кут сервомоторів, специфіка труби форсунки), крім того, аналіз відео аналогічних робіт показав, що деякі рішення прицільного пожежогасіння взагалі не обчислюють цей кут, а просто ведуть струмінь води знизу до точки запалення, використовуючи зворотний зв'язок, коли струмінь води попаде у полум'я та погасить його. Таке рішення збільшує витрати води, по шляху гасіння струмінь заливає майно, однак це значно спрощує розрахунки для керування водяного струменю.

Розробка структурної схеми системи на основі створеної моделі включає інтеграцію апаратних і програмних компонентів для забезпечення автоматизованого прицільного пожежогасіння. Основними елементами системи є дві теплові камери, персональний комп'ютер, сервомотори горизонтального і вертикального позиціонування, форсунка для подачі рідини, а також контролер для управління механізмами. Структурна схема системи прицільного пожежогасіння показана на рис. 1.

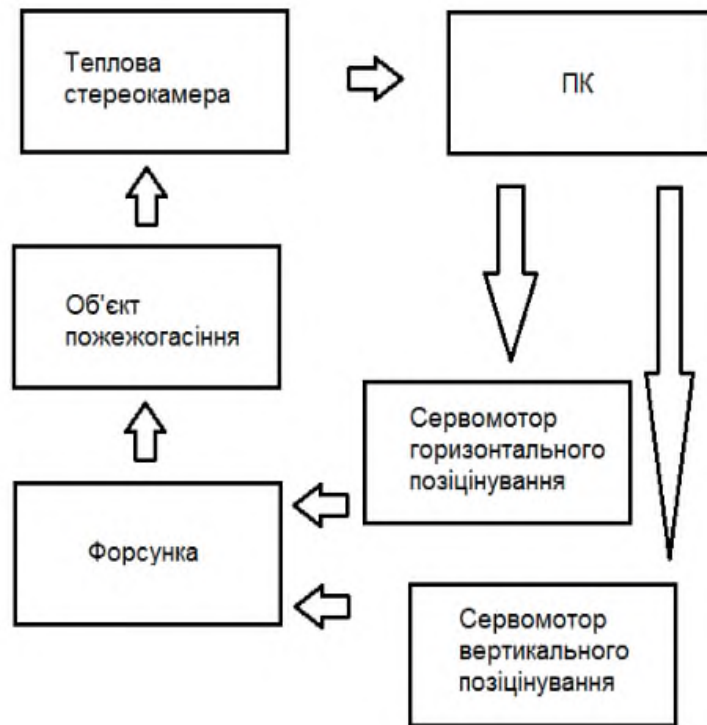


Рис. 1. Структурна схема системи пожежогасіння
Джерело сформовано автором на основі [4]

Структурна схема забезпечує взаємодію цих компонентів із метою точного позиціонування форсунки та подачі рідини на об'єкт загоряння. Дві теплові камери є основними сенсорами для виявлення джерела загоряння. Вони встановлюються таким чином, щоб забезпечити стереоскопічний огляд зони пожежі. Камери передають зображення на персональний комп'ютер, де обробка даних здійснюється за допомогою програми, написаної на мові Python.

Програма аналізує кадри з камер, виділяючи області з температурою, що перевищує встановлений поріг. Умовний поріг температури налаштовується, що дозволяє адаптувати систему до різних умов експлуатації.

На основі даних з теплових камер програма розраховує координати точки загоряння у тривимірному просторі. Алгоритм використовує принципи стереопаралаксу для визначення відстані до об'єкта загоряння. Отримані координати слугують основою для управління положенням форсунки. Персональний комп'ютер передає команди на контролер Arduino Nano через COM-порт. Контролер обробляє ці команди та керує сервомоторами, які відповідають за горизонтальне і вертикальне позиціонування форсунки.

Сервомотори виконують точне позиціонування форсунки, забезпечуючи її спрямування на точку загоряння. Форсунка обладнана клапаном подачі рідини, який також керується через контролер Arduino Nano. Клапан відкривається або закривається залежно від команди програми, що базується на поточній температурній динаміці в зоні пожежі. Система забезпечує замкнений цикл управління зворотного зв'язку. Після подачі рідини програма аналізує нові кадри з теплових камер для перевірки ефективності гасіння. Якщо температура у визначеній зоні залишається високою, алгоритм вносить корекції в положення форсунки або змінює параметри подачі рідини. Цей підхід дозволяє досягти максимальної ефективності гасіння, знижуючи витрати рідини та час реагування. Таким чином, структурна схема системи базується на інтеграції апаратних компонентів із програмним забезпеченням. Її модульний дизайн дозволяє легко адаптувати систему для різних умов експлуатації та об'єктів загоряння та забезпечує надійну і точну роботу в складних ситуаціях.

Проведені натурні тести показали, що система здатна точно ідентифікувати зони загоряння навіть у складних умовах [4]. Визначення координат джерела вогню за допомогою теплових камер та стереопаралаксу продемонструвало високу точність, а реалізовані алгоритми прицілювання забезпечили ефективне спрямування струменя рідини на об'єкт загоряння.

References

1. Nikolaiev S. S., Tymoshenko Y. O., Matviiv K. Y. Zalezhnist yakosti detectora oblych na oznakah Haara vid varyativnosti navchalnoyi vyborki. Research Bulletin of the National Technical University of Ukraine" Kyiv Politechnic Institute". Київ : 6/н, 2017. С. 38–46. [in Ukrainian]
2. Savinova V. V., Kolesnikov V.O. Zastosuvannia metodiv kompiuternoho zoru v avtomobilnii industrii. Problemy ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu : materialy V-yi Mizhnarodnoi naukovo-

- tekhnichnoi internet-konferentsii, 13–14 kvitnia 2017 r., m. Vinnytsia, 2017. S. 113–120. URL: <http://atmconf.vntu.edu.ua/materialy2017.pdf> (data zvernennia: 10.05.2025). [in Ukrainian]
3. Podchashynskyi Yu. O., Luhovykh O. A., Chepiuk L. O. Analiz metodiv obrobky videozobrazhen z vymiriuvalnoi informatsiiei, otrymanykh vid teplovizora/spektralnoi kamer. URL : <https://brom.ua/uk/osnovniharakteristiki-teplovizoriv> (data zvernennia: 10.05.2025). [in Ukrainian]
4. 2. Bondar V. R., Martynenko M. O. Rozrobka ta doslidzhennia systemy prytsilnoho pozhezhohasinnia z tekhnichnym zorom. Project, Program, Portfolio Management. P3M–2024 : tezy dopovidei IKh Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii : [u 2t.]. / Vidpovidalnyi za vypusk P. O. Teslenko. Tom 1. Odesa : IShIR, 2024. S. 138–140. [in Ukrainian]

DOI 10.34132/mspc2025.01.06.07

**Vladyslav Bondar,
Igor Baderko,
Valerii Sytnikov**

USE OF TECHNICAL VISION AND COMPUTER SYSTEM FOR TARGETED FIRE FIGHTING

The paper is analyzed the model and image processing methods for targeted fire fighting, and conducts experimental studies. A model for recognizing smoke and fire images, as well as a model of aiming and liquid hit in 3D space, has been developed. For experimental verification of the developed models, algorithms for measuring distance and aiming, as well as calculating water pressure, have been created.

Keywords: fire fighting, technical vision, computer system, aiming, image processing, fire and smoke recognition

Відомості про авторів / Information about the Authors

Владислав Русланович Бондар, магістр кафедри комп'ютерних систем, Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна, E-mail: sitnikov@op.edu.ua, ORCID ID - не маю.

Vladyslav Ruslanovych Bondar, Master of Science, Computer Systems Department, Odesa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine, E-mail: sitnikov@op.edu.ua, ORCID ID - no.

Ігор Володимирович Бадьорко, асистент кафедри комп'ютерних систем, Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна, E-mail: badyorko_i@ukr.net, orcid: <https://orcid.org/0009-0004-2377-708X>.

Igor Badyorko, assistant of the Computer Systems Department, Odesa Polytechnic National University, E-mail: badyorko_i@ukr.net, orcid: <https://orcid.org/0009-0004-2377-708X>.

Валерій Степанович Ситніков, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри комп'ютерних систем, Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна, E-mail: sitnikov@op.edu.ua, orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3229-5096>.

Valerii Sytnikov, DrSc (Techn.), Prof., Head of the Computer System Department, Odesa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine, E-mail: sitnikov@op.edu.ua, orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3229-5096>.

