

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКА АКАДЕМІЯ ДРУКАРСТВА

**МАКСИМІВ ОЛЕКСІЙ ПЕТРОВИЧ**



УДК 004.93:004.89:004.855

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОЛУМ'Я  
ЗГОРТКОВИМИ НЕЙРОННИМИ МЕРЕЖАМИ В СИСТЕМАХ  
ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Львів – 2021**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

**Науковий керівник:**

доктор технічних наук, доцент  
**Рак Тарас Євгенович,**  
Приватний заклад вищої освіти «ІТ СТЕП  
Університет»,  
професор кафедри інформаційних технологій

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
**Сеньківський Всеволод Миколайович,**  
Українська академія друкарства,  
завідувач кафедри комп'ютерних наук та  
інформаційних технологій

кандидат технічних наук  
**Дейнеко Анастасія Олександрівна,**  
Харківський національного університет  
радіоелектроніки,  
доцент кафедри штучного інтелекту

Захист відбудеться «29» вересня 2021 р. о 15.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.101.01 в Українській академії друкарства за адресою: 79020, м. Львів, вул. Під Голоском, 19, ауд. 101.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української академії друкарства за адресою: 79006, м. Львів, вул. Підвальна, 17.

Автореферат розіслано 26 серпня 2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Жидецький В.Ц.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Незважаючи на загальний технічний прогрес, в Україні і загалом у світі спостерігається тенденція до зростання кількості пожеж та виникнення пов'язаних з ними надзвичайних ситуацій. Щорічно один лише показник завданих матеріальних збитків збільшується в середньому на 6%, що зумовлює пошуки шляхів вдосконалення процесів та засобів реагування на такі загрози.

Впродовж останніх років, з метою зменшення збитків, які можуть бути спричинені пожежами, чимало зусиль спрямовується на запровадження систем і пристроїв пожежної сигналізації, пожежних сповіщувачів різного типу. Проте, вузька спеціалізація таких пристроїв нерідко зумовлює ігнорування людьми вимог правил пожежної безпеки щодо їх встановлення та коректного використання. Паралельно з цим, на підприємствах, в установах і в приватних оселях активно впроваджуються різноманітні охоронні системи на основі інформаційних та комп'ютерних технологій, зокрема, на основі систем відеоспостереження. Активний розвиток інформаційних технологій дозволяє розширювати функціонал таких систем та будувати ефективні системи для функціонування в достатньо широкому спектрі умов. Умови виникнення та розвитку пожеж, такі як задимленість, мікрошуми, освітленість тощо, зазвичай істотно впливають на якість функціонування таких систем, що призводить до неможливості вироблення ефективних та адекватних до конкретної ситуації дій. Тому актуальним є завдання розроблення інформаційної технології та методів для побудови систем відеоспостереження, які забезпечать автоматизацію процесу ідентифікації ознак пожежі у відеопотоці з метою мінімізації часу їх виявлення.

Важливість задачі розроблення інформаційних технологій виявлення полум'я на зображеннях чи у відеопотоках підтверджується великою кількістю наукових робіт (Н. Бровко, О. Бучко, І. Ізонін, А. Кушнір, Ю. Матвіїв, Д. Пелешко, С. Caixia, T. Celik, L. CheBin, T. Chen, H. Demirel, S. Fuchun, P. Gomes, G. Haifeng, X. Jiaolong, X. Liang, H. Ozkaramanli, X. Qi, Z. Qingjie, Z. Xinquan та ін.). Однак, незважаючи на існуючі напрацювання в сфері використання систем технічного зору, проблема виявлення полум'я у відеопотоках в комплексі не є вирішеною. З однієї сторони є змога забезпечити ефективну ідентифікацію об'єктів у відеопотоці, проте, враховуючи складність таких операцій, робота програмного забезпечення в online режимі стає неможливою. З іншої ж сторони, завдяки інтенсивному розвитку інформаційних технологій, зокрема, методів та технологій машинного зору і можливостей сучасних відеокамер, на сьогоднішній день існує можливість побудови сучасних інтелектуальних інформаційних технологій та методів, які б дозволили проводити швидкий попередній аналіз відеопотоків з метою виявлення у них ознак виникнення пожежі в online режимі. Однак, існуючі рішення характеризуються високим показником кількості хибних викликів, що є недопустимим в контексті роботи системи, яка відповідає за забезпечення життєдіяльності людини. Все це зумовлює актуальність розв'язання задачі виявлення полум'я у відеопотоці з урахуванням необхідності отримання високої точності ідентифікації об'єктів в

широкому робочому діапазоні та стійкістю до негативного впливу різноманітного зашумлення.

Актуальним завданням є розроблення інформаційної технології та методів аналізу відеопотоку в online режимі з метою виявлення ознак пожежі.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** Робота виконувалась у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності (ЛДУ БЖД) відповідно до положень та завдань визначених Кодексом цивільного захисту України № 5403-VI від 02.10.2012р., Законом України «Про інформацію» від 02.10.1992 № 2657-XII, Законом України «Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах» від 05.07.1994 № 80/94-ВР.

Дисертаційна робота відповідає тематичній спрямованості наукових розробок та здійснювалася у відповідності до плану науково-дослідних робіт ЛДУ БЖД за темами: «Розроблення геоінформаційного комплексу підрозділу ДСНС України на основі web-технологій картографії» (РК № 0114U004182) та «Дослідження та вдосконалення моделей систем захисту інформації» (РК № 0117U005271).

**Метою дослідження** є розроблення інформаційної технології та методів ідентифікації полум'я, які базуються на його параметризації у відеопотоках, для створення автоматизованих систем реагування на пожежі.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі **завдання**:

1. Провести аналіз існуючих інформаційних технологій та методів ідентифікації полум'я у відеопотоці, виявити їхні переваги та недоліки.

2. Розробити інформаційну технологію ідентифікації полум'я, яка за умови функціонування в online режимі забезпечить опрацювання зображень з низькою роздільною здатністю.

3. Розробити метод для генерування ділянок зображень, які візуально можуть нагадувати полум'я.

4. Розробити метод верифікації регіонів для класифікації отриманих зображень в задачах ідентифікації полум'я.

5. Здійснити програмну реалізацію детектора полум'я та провести експериментальні дослідження при функціонуванні в умовах, наближених до реальних.

*Об'єктом дослідження* є процеси ідентифікації полум'я на основі цифрових відеопотоків, отриманих з камер спостереження в online режимі.

*Предметом дослідження* є інформаційна технологія, методи та засоби ідентифікації полум'я у відеопотоці в online режимі.

**Методи дослідження.** У процесі розв'язання дисертаційних задач використано методи обробки цифрових зображень (для вирішення задач фільтрації та класифікації цифрових зображень), функціонального аналізу, лінійної алгебри (для побудови математичних програмних моделей), нейронних мереж (для вирішення задач ідентифікації складних об'єктів), організації обчислювальних процесів із використанням обчислювальної техніки (для розроблення програмного забезпечення).

**Наукова новизна одержаних результатів.** На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень отримано такі результати:

*Вперше розроблено:*

- інформаційну технологію ідентифікації полум'я у відеопотоках, яка характеризується високою точністю розпізнавання в online режимі та стійкістю до появи окремих класів артефактів та шумів;

- метод генерування ділянок зображень для розв'язання задачі подібності з об'єктом уваги (полум'ям), який завдяки використанню набору правил для колірної моделі  $L^*a^*b$  та локальних бінарних шаблонів мінімізує вплив зміни освітленості та випадкових періодичних мікрошумів, що підвищує ефективність роботи генератора гіпотез;

- метод верифікації в процедурах генерації областей, побудований на основі глибоких згорткових нейронних мереж, який, завдяки використанню ансамблевої структури уможлиблює підвищення точності ідентифікації полум'я.

*Набула подальшого розвитку:*

- нейронна модель SqueezeNet в ролі бінарного класифікатора з її розширенням на основі створеної бази зображень та використанням техніки трансферного навчання, що дозволило покращити стійкість верифікації на зображеннях, які візуально можуть нагадувати полум'я.

**Практичне значення одержаних результатів.** Наукові результати дисертаційної роботи полягають у отриманні алгоритмів та програмного забезпечення, яке здатне ідентифікувати наявність полум'я на зображенні чи у відеопотоках із покращеною властивістю щодо відсіювання візуально схожих об'єктів та можливістю роботи з камерами відеоспостереження невисокої якості.

Розроблені у процесі дисертаційних досліджень методи покращують швидкість роботи згорткових нейронних мереж (ЗНМ) завдяки передачі на вхід не усього зображення, а лише його окремих ділянок, які можуть візуально нагадувати вогонь.

Запропонований метод розділення використовуваного типу нейронної мережі для виявлення полум'я малих та великих розмірів не лише підвищує точність ідентифікації, а й зменшує тривалість роботи процедур опрацювання інформації, що отримується з відеокамер, які розташовані на далекій відстані. Це дає змогу пришвидшити процес виявлення полум'я на початкових етапах.

Окремі теоретичні та методичні положення дисертації використано:

- у навчальному процесі Львівського державного університету безпеки життєдіяльності в процесі формування та наповнення навчальних дисциплін «Технології програмування» та «Спеціальні розділи програмування», «Комп'ютерні методи дослідження інформаційно-телекомунікаційних систем», «Моделювання та прогнозування в соціальній сфері», «Інформаційно-телекомунікаційні системи» за спеціальністю 125 «Кібербезпека» (акт впровадження від 21.05.2020 р.).

- у навчально-методичному центрі цивільного захисту та безпеки життєдіяльності Львівської області при впровадженні в систему навчання сучасних технологій детектування об'єктів на зображеннях, які дозволяють швидко ідентифікувати первинні прояви надзвичайних ситуацій, що надає змогу мінімізувати час та оптимізувати роботу фахівців, як складової частини інформаційної системи підтримки прийняття управлінських рішень в умовах пов'язаних з ризиком (акт впровадження від 14.06.2020 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертація є самостійною науковою працею, в якій висвітлені власні ідеї та розробки, що надало змогу розв'язати поставлені завдання. Всі наукові результати, викладені у дисертаційному дослідженні та наведені в опублікованих працях, отримані автором особисто. Робота містить теоретичні та методичні положення і висновки, сформульовані дисертантом особисто. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертаційній роботі використані ідеї та положення, які є результатом індивідуальної праці автора, зокрема, постановки задач та методів їхнього розв'язання, ідеї використання базового генератора гіпотез для зображень, в яких може спостерігатися ознаки пожежі, та способи покращення ефективності роботи детектора полум'я шляхом зменшення кількості хибних викликів. Зокрема, у публікаціях здобувачу належать: проведення експериментальних досліджень та реалізація запропонованих підходів до виявлення полум'я [1], проведення порівняльного аналізу ефективності роботи окремо взятих методів та відзначення існуючих недоліків їх роботи [2], порівняння методів щодо їх функціонування та ефективності і визначення основних недоліків [3], постановка задачі та запропоноване застосування ансамбльного підходу до ідентифікації полум'я у відеопотоці [4], формулювання та обґрунтування задачі дослідження, проведення аналізу та узагальнення даних [5], ідея використання методу виявлення полум'я на зображеннях з використанням локальних бінарних шаблонів [6], опис особливостей застосування хмарних технологій для інформаційно-аналітичних систем з питань надзвичайних ситуацій [7], розроблення та опис методу глибокої згорткової мережі для виявлення ймовірних ознак пожежі [8], розроблення методу виявлення ознак пожежі в online режимі, що поєднує AdaBoost, LBP та згорткову нейронну мережу у відеопослідовності [9], ідея використання морфологічних операцій із метою зменшення зашумлення зображень [10], аналіз особливостей ідентифікації полум'я у відеопотоці на основі згорткових нейронних мереж [11], формулювання переваг та недоліків застосування згорткових нейронних мереж для ідентифікації полум'я у відеопотоці [12].

**Апробація результатів дисертації.** Про основні результати наукових досліджень автор доповідав на 6-х міжнародних конференціях, зокрема таких: 13th and 14th International Conference “The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics” (2015 р., 2016 р., Закарпатська обл., м. Поляна); IEEE 1st and 2nd International Conference on Data Stream Mining & Processing (2016 р., 2018 р., м. Львів); VIII Міжнародна школа-семінар «Теорія прийняття рішень» (2016 р., Закарпатська обл., м. Ужгород); Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту» (2018 р., Херсонська обл., с. Залізний порт), наукові семінари Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (2015 р., 2017 р., 2018 р., 2019 р., м. Львів).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 12 наукових праць, зокрема 6 наукових статей, серед яких 2 статті у наукових виданнях, внесених у міжнародну наукометричну базу Scopus та 4 статті у наукових фахових виданнях України із технічних наук, 6 публікацій у збірниках наукових праць міжнародних конференцій та школи-семінару, 3 з них включені до наукометричної бази Scopus.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Робота

містить 112 сторінок основного тексту, 30 рисунків та 7 таблиць. Список літературних джерел налічує 84 найменувань. Дисертація містить 2 додатки. Загальний обсяг дисертації становить 146 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкрито актуальність теми дисертації, сформульовано мету, завдання, об'єкт, предмет дослідження, визначено методи дослідження, обґрунтовано наукову новизну, висвітлено практичне значення та апробацію одержаних результатів.

У **розділі 1** «Аналіз стану та тенденції розвитку інформаційних технологій та методів виявлення полум'я» визначено необхідність використання та удосконалення існуючих систем автоматизованого виявлення полум'я з метою протидії виникненню та подальшому розповсюдженню пожеж. Основним аргументом в цьому контексті стає щорічне зростання кількості як матеріальних збитків, так і людських втрат, які спричинені виникненням та розповсюдженням пожеж. Згідно звіту «Про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2020 році» більше половини надзвичайних ситуацій техногенного характеру (55%) виникає внаслідок пожеж і вибухів, саме тому інформування відповідних органів та підрозділів на ранніх етапах є важливою задачею, що дозволить зменшити кількісні показники людських втрат та матеріальних збитків шляхом скорочення часу виявлення ознак пожежі.

В рамках дослідження виокремлено вимоги до автоматичних пожежних сповіщувачів (АПС). Для визначення позитивних та негативних моментів в роботі сповіщувачів був здійснений їх розподіл відповідно до виду контрольованої ознаки, оскільки, незважаючи на однакове функціональне призначення (виявлення ознак пожежі), принципи реагування у них відрізняються.

За результатами проведеного аналізу визначено, що для ефективного реагування на пожежу засобами пожежних сповіщувачів, необхідно використовувати не лише один їх різновид, а комбіноване поєднання, оскільки лише за таких умов можливо забезпечити високий рівень достовірності отримуваної інформації від сповіщувачів та, як наслідок, покращити показники рівня захисту від пожеж. Проте, за умов реалізації такого підходу можливе виникнення певних проблем: складність монтажу, технічного обслуговування та висока вартість обладнання.

З урахуванням проведеного аналізу зроблено висновки про невідповідну кількість встановлених пожежних сповіщувачів на об'єктах з масовим перебуванням людей та складність їх підтримки в робочому стані, що, передусім, зумовлено їх вузькою специфікою і порівняно низькою ймовірністю виникнення пожежі. Для вирішення вказаних проблем запропоновано використання засобів відеоспостереження, які, в порівнянні з традиційними автоматичними пожежними сповіщувачами, мають ряд переваг: можливість виявлення полум'я на відкритій місцевості; можливість контролю приміщень великих об'ємів з мінімальною кількістю відеокамер (їх розміщення, на відміну від деяких типів традиційних сповіщувачів, не повинно знаходитися поблизу ймовірного джерела займання),

можливість перевірки правильності та ідентифікації безпосереднього місця загоряння, мінімально короткий час реагування на прояви пожежі, полегшення виявлення місця та причини виникнення пожежі.

Для створення ефективних інформаційних технологій і методів виявлення ознак пожежі проведений літературний та інформаційний аналіз за напрямками, які дозволяють описати полум'я як об'єкт спостереження: колірна сегментація, виявлення рухомих об'єктів та просторово-часовий аналіз.

В рамках досліджень проаналізовані особливості застосування таких колірних моделей: RGB, YUV, HSI, YCbCr та  $L^*a^*b$ . Отримані результати дозволили стверджувати, що незважаючи на широке використання методу колірної сегментації в задачах ідентифікації полум'я, характерним для нього є велика кількість хибно-позитивних викликів.

Для покращення точності наданої оцінки щодо наявності полум'я на зображенні додатково проаналізовані роботи, які присвячені аналізу руху об'єкта на відео. З цією метою було досліджено чотири із найбільш використовуваних та ефективних підходів визначення рухомих об'єктів: вилучення заднього фону, статистичний аналіз, різниця кадрів та оптичний потік.

Додатково проаналізовано наукові роботи, які дозволяють відрізнити полум'я від інших візуально подібних об'єктів на основі його просторово-часової поведінки (мерехтіння, напрямку руху тощо). Виявлено, що імплементація вказаних методів вимагає передусім вдосконалення існуючих технічних засобів. Передусім це зумовлено тим, що для виявлення мерехтіння або коливань у пікселях, які можуть дозволити описати пожежу, швидкість відеозйомки повинна бути на достатньо високому рівні, щоб зафіксувати вказані процеси. Так, для фіксації мерехтіння з частотою 10 Гц, відеозапис повинен фіксувати принаймні 20 кадрів на секунду. В результаті проведеного аналізу існуючих методів виявлення полум'я у відеопотоці було сформульовано завдання, в рамках якого вимагається досягнення високих показників правильно розпізнаних шуканих об'єктів (True positive (TP)) та правильно проігнорованих об'єктів іншого типу (True negative (TN)), що можливо за допомогою мінімізації показників хибно детектованих об'єктів (False positive (FP)) або проігнорованих шуканих об'єктів (False negative (FN)).

Розглянуто необхідність врахування низки обмежень при розробленні методу, а саме: невизначені умови спостереження; наявність особливостей горіння полум'я, необхідність додаткового навчання. Ряд зовнішніх та внутрішніх факторів також впливає на якість детектування. Відповідно, при розробленні інформаційної технології ідентифікації полум'я необхідно врахувати наступне: умови середовища, які визначають зашумленість та зміну освітленості (загальні погодні умови (туман, дощ тощо)); візуальна видимість; час доби та розміщення камери спостереження, що впливатиме на процес ідентифікації полум'я (кут нахилу, висота, зона спостереження).

**У розділі 2** «Розроблення базового генератора гіпотез щодо наявності полум'я на зображенні» розглядається процес створення генератора гіпотез, який базується на використанні вдосконалених традиційних методів комп'ютерного зору (колірна сегментація, виявлення рухомих об'єктів тощо) з метою отримання ділянок



зображень, які можуть візуально нагадувати полум'я, та формування навчальної вибірки для подальшого навчання нейронної мережі.

Для сегментації зображення на основі колірних ознак був проведений порівняльний аналіз ефективності використання колірних моделей в задачах виявлення полум'я. На основі аналізу експериментальних результатів низки дослідників можна зробити висновок, що для виявлення процесу горіння на зображеннях, найбільш ефективними методами є ті, які ґрунтуються на використанні колірних моделей  $L^*a^*b$  або  $YCbCr$ .

На відміну від існуючих підходів щодо виявлення полум'я на зображеннях, було вирішено розробити генератор гіпотез, що надасть змогу відокремити ділянки зображень, які за своїми ознаками не можуть нагадувати полум'я. В порівнянні з іншими роботами, де автори спрямовували свої зусилля на досягнення максимально можливого показника точності, генератор гіпотез спрямований на забезпечення показника повноти класифікації.

Для досягнення поставленого завдання проведено аналіз з метою визначення ефективності повноти сегментації на основі 4 колірних моделей: RGB, HSV, CIE  $L^*a^*b$  та  $YCbCr$ . Для цього було відібрано 250 зображень, на яких спостерігається пожежа і які характеризуються певною варіативністю стосовно розширення, рівня зашумленості, освітленості, умов зйомки тощо. Для виділення границь, в яких може знаходитися полум'я, було використано метод кластеризації  $k$ -середніх ( $k$ -means).

Отримані експериментальні результати дали змогу виявити, що модель  $L^*a^*b$  дозволяє забезпечити не тільки ефективне відсіювання пікселів, які не подібні на вогонь, а й таких, які в інших моделях можуть хибно відноситися до категорії «полум'я». Приклади сегментованих зображень наведено на рис. 1

Для детектування рухомих пікселів враховано типові фактори, які ускладнюють даний процес:

- різна кількість об'єктів спостереження;
- варіативність характеристичних ознак при переходах між камерами;
- ракурси камер системи, з яких формується інтегральна зона спостереження;
- різні умови реєстрації об'єктів уваги;
- різна якість камер.

Врахування даних факторів спричинятиме значне навантаження на обчислювальні ресурси системи ідентифікації полум'я, що зумовлює протиріччя між необхідністю отримання високих показників точності детектування з одного боку та зменшенню кількості необхідних обчислювальних ресурсів з іншого.

Запропонований підхід до виявлення рухомих об'єктів у відеопотоці ґрунтується на використанні методу різниці кадрів. Даний метод передбачає виявлення змін між двома послідовними кадрами відеопотоку шляхом елементарного попиксельного віднімання поточного кадру від наступного кадру. Математично даний процес описується таким чином:

$$D(x, y, t + 1) = \{1, \text{if } |f(x, y, t) - f(x, y, t + 1)| > Th | 0, \text{otherwise} \} \quad (1)$$

де  $f(x, y, t)$  – кадр відеопотоку у часі;

$f(x, y, t + 1)$  – наступний кадр у часі  $t + 1$ ;

$Th$  – граничне значення для прийняття рішення.



Рисунок 1. Приклад сегментації зображень за допомогою колірної моделі  $L^*a^*b$

Для здійснення повного математичного опису процесу горіння необхідно враховувати інформацію, отримати яку за допомогою камер відеоспостереження неможливо: тип горючого матеріалу, швидкість вітру, наявність різноманітних домішок у повітрі, рівень вологості та кут нахилу матеріалу, який горить, тощо. Однак, можливо зменшити кількість хибних викликів шляхом відокремлення випадків руху, які не є характерними для полум'я. Так, язички полум'я за нормальних умов горіння, зазвичай, тягнуться догори, а за умов наявності вітру можуть дещо схилитися в бік. При цьому, вони ні за яких умов не рухаються вниз.

Алгоритмічно процес отримання ділянки можливого коливання язиків полум'я можна описати так: на основі методу різниці кадрів отримується інформація про рухомий об'єкт, який описується за допомогою параметрів:  $H_i$  – висота об'єкту,  $W_i$  – ширина;  $P$  – центральна точка об'єкту. Вказані характеристики забезпечують визначення чотирьох точок –  $R_1(x,y)$ ,  $R_2(x,y)$ ,  $R_3(x,y)$ ,  $R_4(x,y)$ , що уможлиблює виявлення можливої ділянки коливання язиків полум'я (рис. 2).

Додатково до запропонованого методу визначення рухомих об'єктів, які можуть нагадувати полум'я, встановлено умову, при якій значення яскравості пікселів в кожному колірному каналі при переході з одного кадру в наступний буде характеризуватися лише незначною зміною значень:

$$\begin{aligned} -10 \geq I_t(x,y) - I_{t-1}(x,y) \leq 10 \\ -10 \geq I_{t+1}(x,y) - I_t(x,y) \leq 10 \end{aligned} \quad (2)$$

де  $I_t$  – значення яскравості на кадрі  $t$ .

У процесі розроблення генератора гіпотез додатково запропоновано використовувати морфологічні операції бінаризації та розкриття для усунення дуже малих ділянок (візуально не можуть надати будь-якої інформації) та можливих артефактів зображення (передусім зашумлення на відеокамерах з низькою роздільною здатністю).

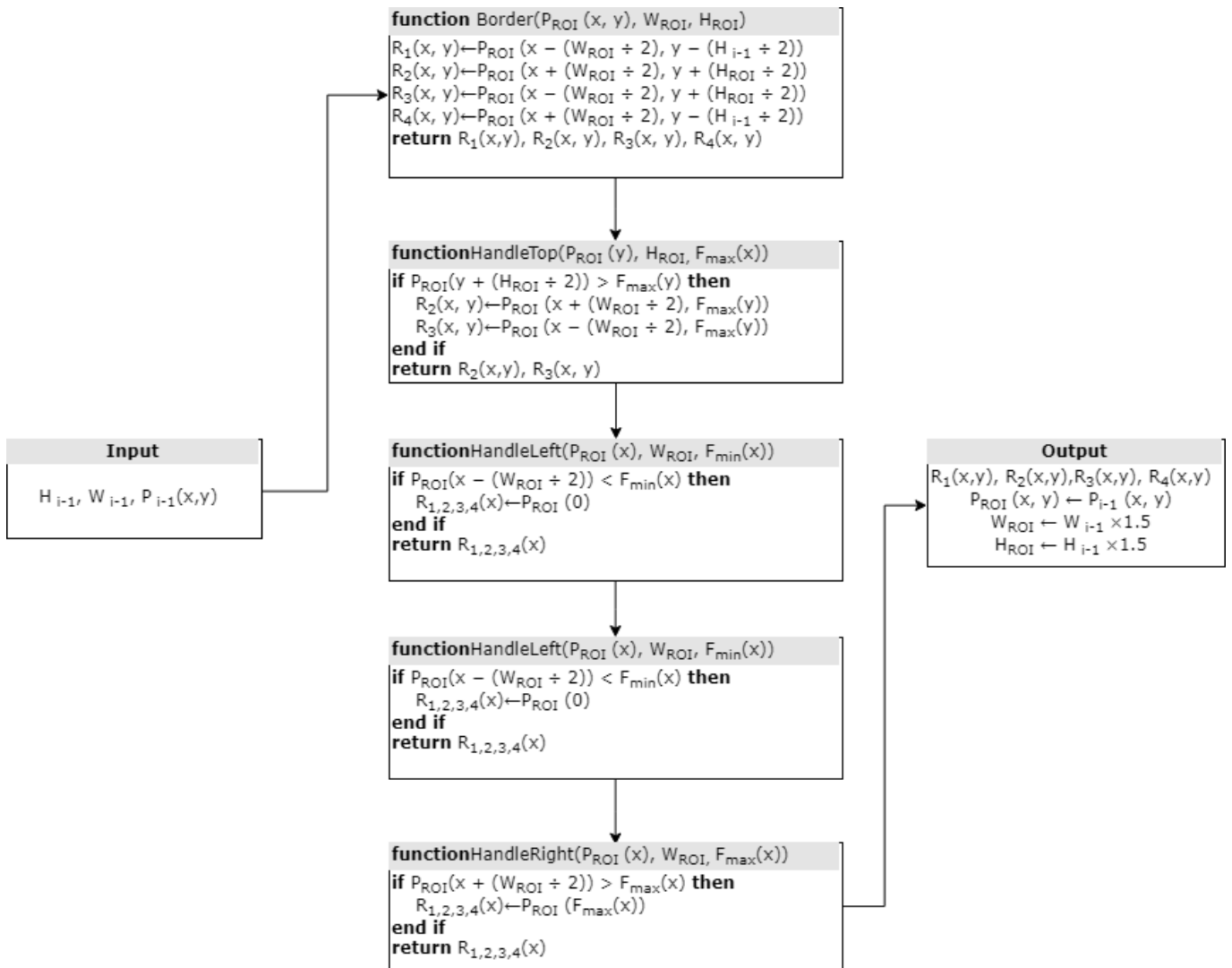


Рисунок 2. Етапи отримання ділянки коливання язиків полум'я

Верифікація отриманих регіонів здійснюється на основі дескриптора локальних бінарних шаблонів, який характеризується низькою складністю обчислень, стійкістю під час зміни освітлення, зашумлення та текстурної варіації. Для покращення точності класифікації проаналізовано різноманітні типи ядер класифікатора та визначено, що найбільш доцільно буде використовувати SVM (Support Vector Machine) класифікатор з ядром на основі радіально-базисної функції.

У розділі 3 «Верифікація регіонів інтересу на основі глибоких згорткових нейронних мереж» реалізовано спосіб використання ЗНМ для врахування певних особливостей об'єкту спостереження та зменшення кількості хибно-позитивних спрацювань.

Для побудови ефективної мережі проаналізовано її основні компоненти: згорткові шари (convolution layers), субдискретизаційні шари (subsampling layers) та інші шари підвибірки (pooling layers). Додатково досліджено архітектури GoogleNet, AlexNet, ResNet, SqueezeNet, ZFNet та ReLU, які сприяли розвитку ЗНМ та дозволяють покращити ефективність їх роботи.

Отримані експериментальні результати дозволяють стверджувати, що існуючі нейромереві моделі надають можливість ідентифікувати об'єкти на зображеннях з доволі високим показником точності (від 80% правильності роботи класифікатора

за умов якісного навчання). Однак, враховуючи специфіку розроблюваної системи ідентифікації полум'я, показники точності повинні бути максимально наближеними до ідеальних, оскільки від цього залежить життя людей.

В рамках проведеного дослідження здійснено модифікацію нейромережових моделей у напрямі покращення показника точності. З цією метою побудовано елементарну архітектуру ЗНМ, яка б дозволяла визначати наявність полум'я на зображенні.

Для покращення здатності штучної нейронної мережі до навчання та узагальнення введено додатковий прихований шар з функцією активації. На противагу широко застосовуваним нелінійній та сигмоїдній функціям в розроблюваній архітектурі вирішено використати спрощену нелінійну функцію активації – ReLU. Передусім це пов'язано з тим, що використання інших функцій призводило до збільшення градієнтів або затухання.

Сам процес згортки описується наступною формулою:

$$c[m, n] = a[m, n] \otimes h[m, n] = \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{k=0}^{K-1} h(m, n) \cdot a\left(m + j - \frac{N}{2}, n + k - \frac{M}{2}\right) \quad (3)$$

$h[m, n]$  – ядро з розмірами  $m \cdot n$ , де  $m = 0, \dots, (J - 1), n = 0, \dots, (K - 1)$ ;

$a[m, n]$  – вхідне зображення з розмірами  $m \cdot n$  (в нашому випадку матриця розмірами 28x28).

Оскільки передбачається використання кольорових зображень, то додатково застосовується тривимірне ядро згортки  $h(m, n, y)$  разом з ReLU як функцією активації:

$$c[m, n, z] = \sum_y \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{k=0}^{K-1} h(m, n, z) \cdot a\left(m + j - \frac{N}{2}, n + k - \frac{M}{2}, z\right) + b(z) \quad (4)$$

Щодо переваг використання шару такого типу, то слід відзначити три основні положення:

1. Інваріантність до розташування об'єкта.
2. Невелика кількість параметрів, яка встановлюється при навчанні.
3. Здатність зауважити кореляцію між сусідніми пікселями.

Шар підвибірки, який іде відразу за згортковим шаром, використаний для зменшення розмірності карти ознак та параметрів мережі. В основі даного шару використана операція *max pooling*, яка має ряд переваг у порівнянні з іншими: покращена генералізація та вибір ключових характеристик; здатність до більш швидшої конвергенції (сходження); покращена стійкість до зрушень.

Математично вказана операція може бути відображена таким чином:

$$\begin{aligned} M(m, n, z) &= \max I(i, j, z); \\ i &= D_x \cdot m, \dots, (D_x \cdot m + J); \\ j &= D_y \cdot n, \dots, (D_y \cdot n + K) \end{aligned} \quad (5)$$

Отримано архітектуру ЗНМ з двома операціями згортки на *maxpool* для виявлення полум'я на зображеннях розмірами 28x28 (рис. 3). Звідси можемо спостерігати, що на вході подається зображення розмірами 28x28x3, до якого застосовують фільтр з розміром 5x5x3. В результаті отримуємо 6 карт ознак, кожна з яких має розміри 24x24.

Після застосування *maxpool* розмірність карт знизиться до 12x12. Повторне використання згортки з ядром 5x5x3 та операції *maxpool* дозволить для кінцевого

шару отримати  $4 \times 4 \times 6 = 96$  параметрів, які лінійно з'єднані з вихідним шаром на 2 нейрони.

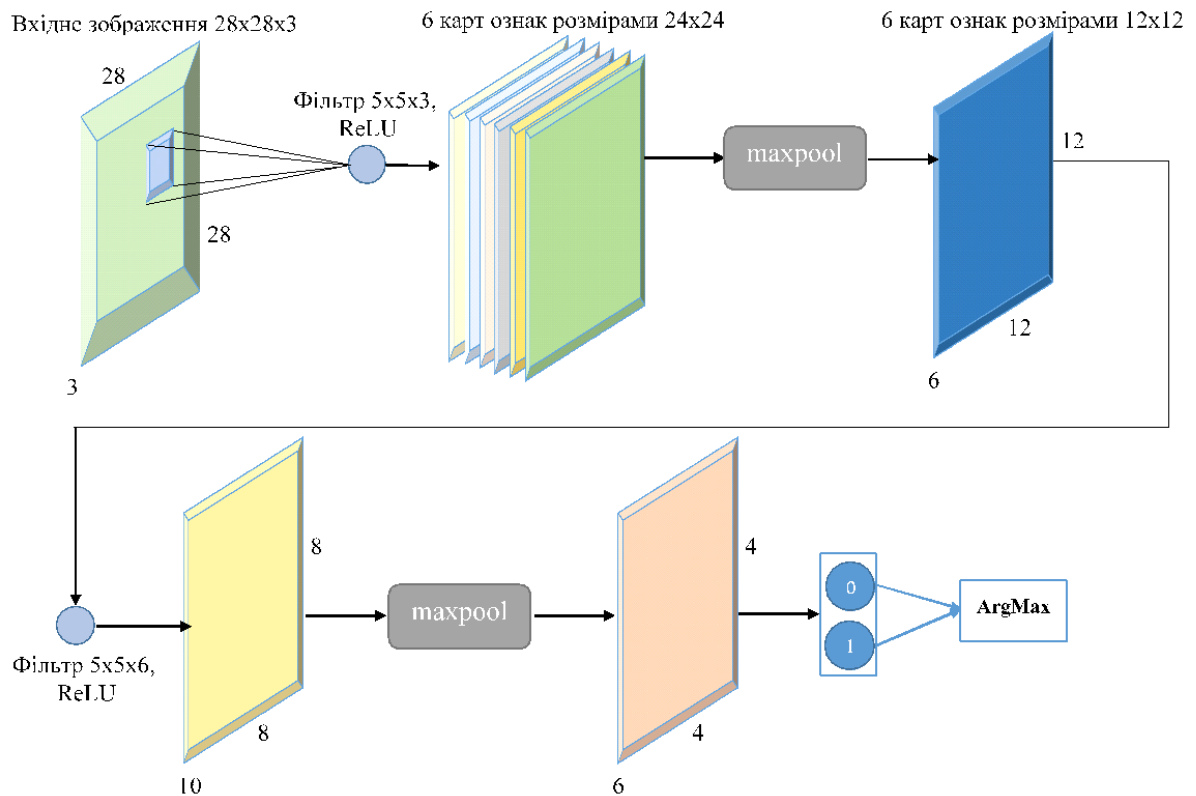


Рисунок 3. Архітектура згорткової нейронної мережі з двома операціями згортки на  $\text{maxpool}$

За результатами аналізу набору зображень, на яких попередньо розроблені детектори полум'я здійснювали помилкові спрацювання або не спрацювали за умов наявності вогню, було виділено дві ключові складності, лише за умов вирішення яких можливе забезпечення надійної ефективності роботи такого детектору.

Перша складність полягає у низькій якості як усього зображення, так і зображення самого осередку полум'я, яке може знаходитися на значній відстані від місця розташування камери відеоспостереження і, відповідно, характеризується абсолютно іншими ознаками. Друга – неможливість врахування повної картини зображення традиційними методами детектування.

З метою вирішення вищезазначених проблем запропоновано використовувати додаткову нейронну мережу з метою перевірки правильності наданої генератором гіпотез інформації про ймовірність наявності об'єкту. В даному випадку структура мережі (рис. 4) поділяється на дві підмережі з метою більш ефективного роботи детектора на зображеннях різної роздільної здатності та врахуванням різноманітних розмірів полум'я.

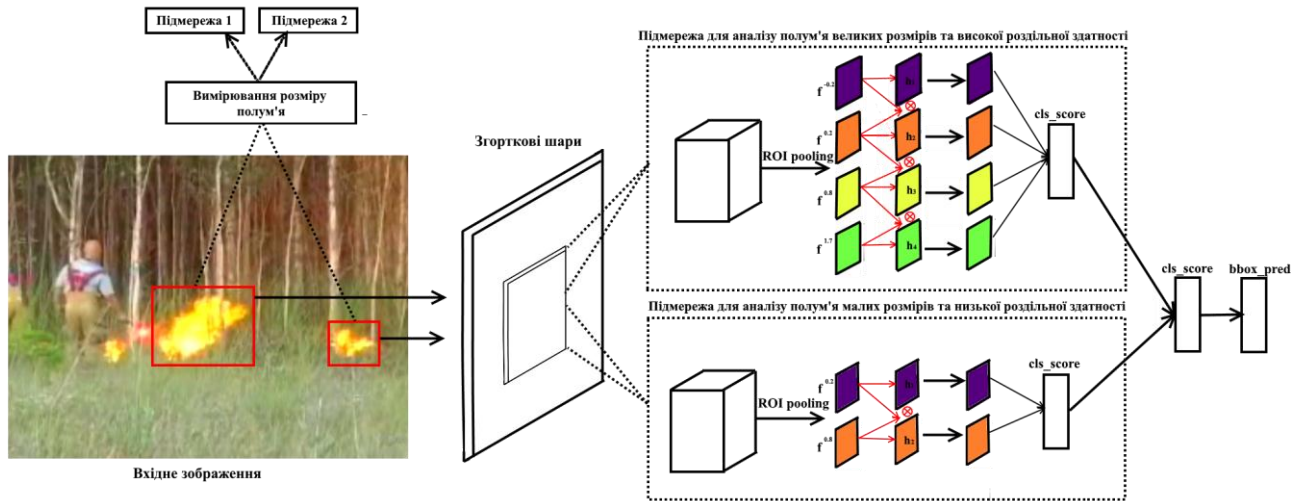


Рисунок 4. Запропонована структура ансамблевого методу виявлення полум'я на основі згорткових нейронних мереж з використанням порогових функцій

Для оцінки розмірів полум'я з метою вибору нейронної мережі, яка повинна використовуватися, аналізується так звана гіпотеза, що була отримана в результаті генерування ділянок, які можуть візуально нагадувати полум'я. Якщо її висота не перевищує  $1/15$  висоти усього зображення, то використовується підмережа два ( $n_1$ ). В інших випадках – підмережа один ( $n_h$ ):

$$n_1 \text{ if } b_h \leq \frac{1}{15} \text{ image}_{\text{height}}$$

(6)

$$n_h, \text{ otherwise}$$

Перша підмережа визначає наявність полум'я, враховуючи його особливості на зображеннях з високою роздільною здатністю. В свою чергу, друга підмережа враховує особливості полум'я на зображеннях з низькою роздільною здатністю. Кожна з підмереж приймає в якості вхідних даних карту ознак, отриманих з попередніх шарів мережі на етапі генерації гіпотез, та закінчується вихідним шаром, який оцінює можливість наявності полум'я на зображенні, і за умов наявності якого виробляється два вихідних вектори для кожного пропонуваного об'єкту. Перший вектор виводить оцінку класифікації відповідно до класу об'єкту та заднього фону. Другий використовується для виведення обмежувальної рамки щодо розміщення об'єкту. Шар підвибірки ROI (ROI pooling layer) використовується для поєднання карти ознак у вектор фіксованої довжини.

З метою вирішення задачі щодо врахування усєї картини зображення пропонується введення, так званих, порогових функцій на основі пропонуваніх ділянок різних розмірів та опорними регіонами ( $f^{-0.2}, f^{0.2}, f^{0.8}, f^{1.7}$ ).

Навчання ЗНМ шляхом присвоєння випадкових вагових величин вимагає значних часових та обчислювальних ресурсів, особливо якщо зображення мають широке розширення. Окрім цього, без достатньої кількості зображень в навчальній вибірці, яка повинна бути попередньо розмічена на окремі класи об'єкту, неможливо досягнути якісних показників ефективності. З іншої ж сторони, незважаючи на велику кількість навчальних екземплярів, якщо вибірка є нерепрезентативною, то це може призвести до перенавчання мережі.

Для уникнення вищезазначених проблем використано техніку трансферного навчання. Ключова ідея такого підходу полягає в тому, що використовується готова архітектура ЗНМ, побудована на основі доволі великого та репрезентативного датасету.

З цією метою вирішено використати мережу SqueezeNet. Такий вибір обумовлений тим, що дана мережа дозволяє працювати з ефективністю нейронної мережі AlexNet, проте має в 50 раз менше параметрів. Кінцева архітектура розробленої нейронної мережі відображена на рис. 5.

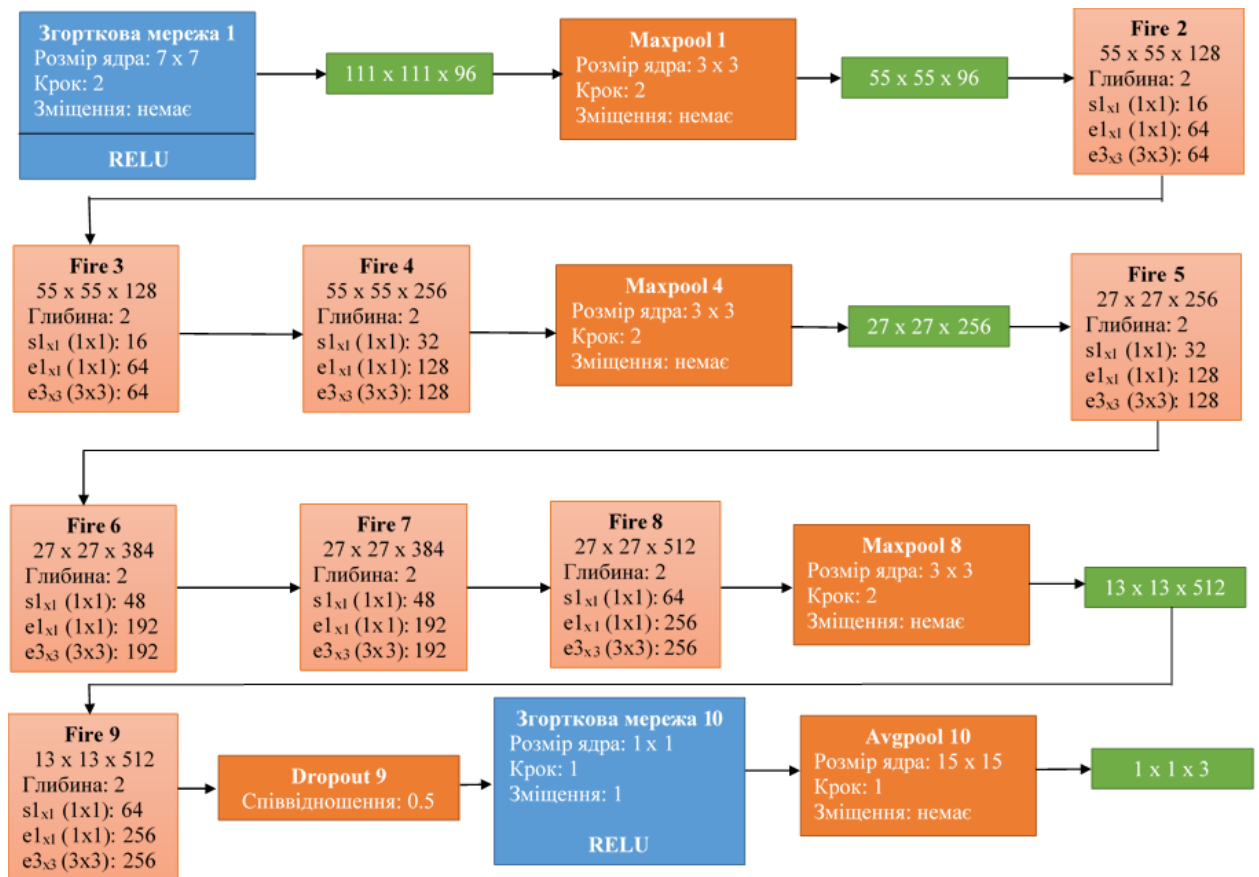


Рисунок 5. Архітектура розробленої нейронної мережі

У зв'язку з обмеженим набором даних у датасеті (лише 5000 зображень, на яких міститься полум'я), додатково прийнято використовувати поворот зображень, передискретизацію та кадрівання.

Прикінцевим етапом налаштування детектора полум'я стала реалізація ансамблю з нейронних мереж. Для цього була навчена модель, яка навчалася лише на базі даних зображень із полум'ям (без застосування підходу трансферного навчання). Незважаючи на те, що така модель характеризується низькою точністю, поєднання її з іншими тонко налаштованими моделями дозволило покращити загальний показник ефективності детектора полум'я. На нашу думку, даний факт зумовлений тим, що мережа натренована лише на датасеті, який містить у собі зображення з вогнем, врахувала інші ознаки об'єкту аніж тонко налаштована мережа.

**Розділ 4** «Експериментальна оцінка розроблених методів ідентифікації полум'я» присвячений отриманню прикладних результатів через застосування розроблених методів в умовах, наближених до реальних. Такий підхід забезпечив порівняння розроблених методів з існуючим, визначення слабких та сильних сторін класифікатора. Розроблені методи інтегровані в єдину інформаційну технологію (рис. 6). Для навчання нейронної мережі використана мова програмування Python та відкрита програмна бібліотека для машинного навчання TensorFlow. Навчання здійснювалося з використанням GPU для зменшення часових затрат, однак у зв'язку з тим, що TensorFlow не забезпечує підтримку GPU на MacOS додатково був використаний Docker.

Для реалізації запланованого передусім важливим є формування якісної та репрезентативної навчальної вибірки для навчання нейронної мережі. В контексті цього проаналізовані існуючі набори зображень та регламентований процес побудови власної вибірки, відповідно до якого повинні враховуватися усі можливі параметри спостереження, які можуть певним чином вплинути на об'єкт дослідження. Параметри такого типу умовно були розділені на декілька категорій:

1. Цільові параметри.
2. Внутрішньокласові параметри.
3. Параметри спостереження.
4. Випадкові параметри.

На етапі безпосереднього збору графічних даних була використана база зображень ImageNet. Синтез власних зображень був проведений на основі сервісу пошуку зображень Google. Додатково, з метою врахування можливих візуально схожих об'єктів, було використано онлайн-відеокамери із вільним доступом. Висновок щодо їх візуальної схожості проводився на основі розробленого методу генерації ділянок зображень, які візуально нагадують полум'я.

Під час фільтрації здійснювався поділ усіх отриманих зображень на дві задані категорії – полум'я та його відсутність. Зокрема, з усього набору обиралися лише ті зображення, які є наближеними до реальних умов відеоспостереження та характеризуються достатньою якістю для здійснення пошуку об'єкту на ньому.

Для надання об'єктивної оцінки щодо ефективності роботи детектора полум'я, отримані результати розділено на дві групи: ефективність роботи детектора на етапі генерування регіонів інтересу та загальна ефективність, що передбачає додаткове використання розробленої штучної ЗНМ.

Висновок щодо якості роботи детектора формувався на основі трьох показників:

1. True positive – детектор визначив ділянку зображення, де знаходилось полум'я і відніс її до відповідної категорії;
2. False positive – детектор помилково визначив ділянку зображення, де були відсутні будь-які прояви вогню, як категорія «полум'я»;
3. False negative – детектор не сповістив про наявність існуючого на зображенні полум'я.



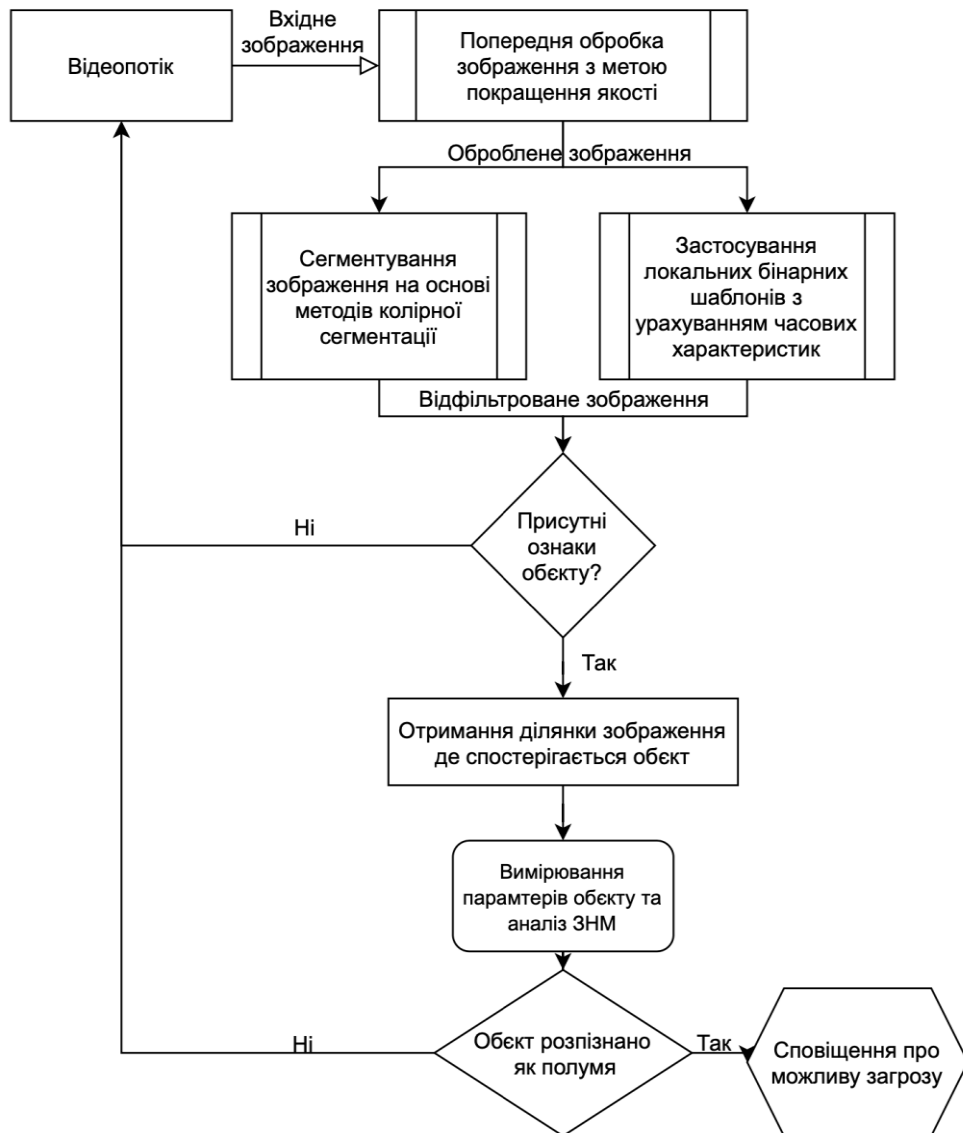


Рисунок 6. Структурно-функціональна модель інформаційної технології ідентифікації полум'я

Для виведення кінцевої оцінки, на основі вищезазначених показників, отримуються значення метрик точності та повноти:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (7)$$

В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що внаслідок використання запропонованих підходів до генерування ділянок зображень, які візуально нагадують полум'я, вдалося досягти високого показника повноти та високого значення точності на відеопотоках з хорошою якістю зображення – в середньому 85 %, дещо меншою у відеопотоках з можливим зашумленням/низькою якістю – 75 %. У відеопотоках, де знаходяться об'єкти, які візуально подібні до полум'я, спостерігається значна кількість хибних викликів, що і зумовлює використання згорткових нейронних мереж.

В результаті використання модифікованої моделі SqueezeNet вдалося не тільки зменшити кількість параметрів без втрати показників точності, а й розмір самої

моделі ~7 Мб. Для порівняння розмір моделі GoogLeNet складає 41 МВ, а моделі VGG-16 - 528 МВ.

Загальний показник ефективності роботи нейронної мережі SqueezeNet без тонких налаштувань складав 83.5 %. Завдяки використанню трансферного підходу, було проведено донавчання мережі шляхом додавання додаткових ваг на виходах з мережі, що в значній мірі дозволило покращити процес класифікації візуально схожих об'єктів. Для цього використовувалась попередньо натренована нейронна модель на базі зображень ImageNet, що дозволило врахувати близько 1000 додаткових категорій. Загальна ефективність після застосування трансферного підходу складала 89 %.

Завдяки використанню морфологічних та трансформаційних операцій показник точності покращився на 2,4 %.

У роботі наведено перелік модифікацій системи, використання яких не покращило ефективність роботи нейронної мережі: штучне збільшення датасету (масштабування, перекоси, випадкові зрушення), поділ датасету на день/ніч (результати вимагають доопрацювання, оскільки зображення на яких міститься полум'я в нічний час становить лише 17% від загальної кількості зображень), використання іншої архітектури SqueezeNet (dense→sparse→dense), додавання додаткових моделей до ансамблю.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне науково-прикладне завдання розроблення інформаційної технології та методів ідентифікації полум'я у відеопотоках для автоматизованого вироблення оптимальних дій у випадках виникнення пожежі. Основні наукові результати полягають у наступному:

1. На основі проведеного аналізу літературних джерел виявлено переваги і недоліки існуючих інформаційних технологій та методів виявлення полум'я. Запропонована концепція використання засобів відеоспостереження для знаходження та супроводу полум'я, яка дозволить мінімізувати необхідні часові затрати для здійснення оповіщення про пожежу.

2. Розроблено інформаційну технологію ідентифікації полум'я на основі генерування ділянок зображень, які візуально нагадують полум'я та подальшої їх верифікації за допомогою згорткових нейронних мереж. Особливістю технології є орієнтація на роботу з зображеннями з низькою роздільною здатністю та врахування реальних умов роботи з камерами відеоспостереження, з метою мінімізації кількості можливих хибних викликів.

3. Розроблено метод генерування ділянок зображення, які за візуальними ознаками можуть нагадувати процес горіння, на основі використання колірної моделі  $L*a*b$ , методу різниці кадрів та локальних бінарних шаблонів. Експериментальні результати свідчать, що середній показник точності запропонованого методу на зображеннях з хорошою якістю – 85 %, а у випадку з можливим зашумленням/низькою якістю вхідного зображення – 75 %;

4. Розроблено метод верифікації отриманих ділянок зображень з використанням глибоких згорткових нейронних мереж, що завдяки структурній

модифікації нейронної мережі дав змогу покращити процес ідентифікації полум'я в складних умовах. Середній показник ефективності нейронної мережі без додаткових налаштувань склав 83.5%;

5. Здійснено програмну реалізацію детектора полум'я у відеопотоці, яка, завдяки реалізації ансамблевого підходу (генерування ділянок зображень та їх подальша класифікація), дозволяє працювати в online режимі, забезпечити ефективне виявлення та супровід об'єкта спостереження. Результати експериментального дослідження свідчать, що середнє значення точності ідентифікації на зображеннях попередньо навченою моделлю складає 86%. Середнє значення точності ідентифікації у відеопотоці (враховуються особливості руху) 92%.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### У наукових фахових виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз (МНБ):

1. Peleshko D., Vynokurova O., Oskerko S., **Мaksymiv O.**, Voloshyn O. Real-Time Flame Detection Using Hypotheses Generating Techniques. In: Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) Advances in Computer Science for Engineering and Education II. ICCSEEA 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol 938. Springer, Cham. Pp. 172–182. **Видання включено до МНБ – Scopus.**

*Особистий внесок: провів експериментальні дослідження та здійснив реалізацію запропонованих підходів до виявлення полум'я.*

2. **Мaksymiv O.**, Rak T., Peleshko D. Video-based Flame Detection using LBPbased Descriptor: Influences of Classifiers Variety on Detection Efficiency. International Journal of Intelligent Systems and Applications. 2017. №2. Pp. 42–48. **Видання включено до МНБ – Scopus**

*Особистий внесок: провів порівняльний аналіз ефективності роботи окремо взятих методів та відзначив існуючі недоліки їх роботи.*

### Публікації в наукових фахових виданнях України:

3. Пелешко Д. Д., Іванов Ю. С., Ізонін І. В., Пелешко М. З, **Максимів О. П.** Відслідковування рухомих об'єктів у відеопотоках реального часу. Вісник ЛДУБЖД. 2016. №13. С. 13–22.

*Особистий внесок: здійснив порівняння методів щодо їх функціонування та ефективності та визначив основні недоліки.*

4. **Максимів О. П.**, Rak T. Є., Пелешко Д. Д. Аналітичний огляд методів детектування вогню за допомогою комп'ютерного зору. Науковий вісник НЛТУ України. 2016. №27. С. 318–325.

*Особистий внесок: здійснив постановку задачі та запропонував застосування каскадного підходу до детектування полум'я у відеопотоці.*

5. **Максимів О. П.**, Rak T. Є., Пелешко Д. Д. Зменшення кількості хибних викликів під час розв'язання задачі детектування полум'я у відеопотоці з використанням глибоких згорткових нейронних мереж. Комп'ютерні науки та інформаційні технології. 2017. №864. С. 268–277.

*Особистий внесок: сформулював та обґрунтував задачу дослідження, провів аналіз і узагальнення даних.*

6. **Максимів О. П.** Каскадний метод детектування полум'я у відеопотоці з використанням глибоких згорткових нейронних мереж. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Т. 27. № 9. С. 115–120.

*Особистий внесок: запропонував метод виявлення полум'я на зображеннях з використанням локальних бінарних шаблонів.*

#### **Публікації апробаційного характеру:**

7. **Maksymiv O., Rak T.** Cloud Technology for Information-Analytical Systems of Emergencies. The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics: 13th International Conference. 2015. Pp. 352–353.

*Особистий внесок: описано особливості застосування хмарних технологій для інформаційно-аналітичних систем з питань надзвичайних ситуацій.*

8. **Maksymiv O., Rak T., Menshikova O.** Deep convolutional network for detecting probable emergency situations. Data Stream Mining & Processing (DSMP): IEEE 1st International Conference. IEEE, 2016. Pp. 199–202. **Видання включено до МНБ – Scopus**

*Особистий внесок: розроблено та описано метод глибокої згорнутої мережі для виявлення ймовірних надзвичайних ситуацій.*

9. **Maksymiv O., Rak T., Peleshko D.** Real-time fire detection method combining AdaBoost, LBP and convolutional neural network in video sequence. Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM): 14th International Conference. IEEE, 2017. Pp. 351–353. **Видання включено до МНБ – Scopus**

*Особистий внесок: описано метод виявлення пожежі в online режимі, що поєднує AdaBoost, LBP та згорткову нейронну мережу у відеопослідовності.*

10. **Peleshko D., Maksymiv O., Rak T., Voloshyn O., Morklianyk B.** Core generator of hypotheses for real-time flame detecting. Proceedings of the 2018 IEEE 2 nd International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). 2018. Pp. 455–458. **Видання включено до МНБ – Scopus**

*Особистий внесок: запропонував використання морфологічних операцій із метою зменшення зашумлення зображень.*

11. **Максимів О. П., Пелешко Д. Д., Рак Т. Є.** Детектування полум'я у відеопотоці на основі згорткових нейронних мереж. Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту: Міжнародна наукова конференція. с. залізний Порт, 2018. С. 245–247.

*Особистий внесок: проаналізовані особливості детектування полум'я у відеопотоці на основі згорткових нейронних мереж.*

12. **Максимів О. П., Рак Т. Є., Меньшикова О. В., Пелешко Д. Д.** Використання згорткових нейронних мереж для розпізнавання полум'я у відеопотоці. Теорія прийняття рішень: Праці VIII Міжнародної школи семінару. м. Ужгород, 2016. С. 167–168.

*Особистий внесок: сформовані переваги та недоліки застосування згорткових нейронних мереж для ідентифікації полум'я у відеопотоці.*

## АНОТАЦІЯ

**Максимів О.П. Інформаційна технологія ідентифікації полум'я згортковими нейронними мережами в системах відеоспостереження. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології. – Українська академія друкарства. – Львів, 2021.

У дисертаційній роботі на підставі проведених досліджень розв'язана важлива науково-прикладна задача, яка стосується розробленню інформаційної технології ідентифікації полум'я на зображеннях та їх послідовностях на початкових етапах.

Проаналізовано існуючі методи виявлення пожежі як за допомогою традиційних засобів (пожежні сповіщувачі) так і за допомогою методів комп'ютерного зору. Виявлені їх основні переваги та недоліки, оцінено перспективність використання запропонованого підходу до виявлення вогню. Розроблено метод виявлення ознак пожежі, який базується на вдосконалених методах: колірної сегментації з використанням моделі  $L^*a^*b$  та кластеризації  $k$ -середніх; виявлення рухомих об'єктів з використанням методу різниці кадрів та врахуванням можливого напрямку руху полум'я. Розроблена згорткова нейронна мережа, яка базується на архітектурі мережі SqueezeNet з її подальшим тонким налаштуванням. Запропоновано архітектуру, яка дозволяє врахувати варіативність розмірів полум'я з метою покращення його класифікації.

Розроблено власний набір зображень, який використовувався для навчання класифікатора та характеризується високим показником варіативності місця, умов зйомки та інших факторів, які можуть ускладнити процес виявлення загоряння.

Експериментальні результати свідчать, що в результаті використання розроблених методів та інформаційної технології показник точності в задачах ідентифікації полум'я в середньому становить 92 %.

**Ключові слова:** інформаційна технологія, машинне навчання, відеокамери, пожежі, згорткові нейронні мережі, штучний інтелект, обробка даних, системи відеоспостереження, генерування, верифікація, трансферне навчання.

## АННОТАЦИЯ

**Максымив А.П. Информационная технология идентификации пламени сверточными нейронными сетями в системах видеонаблюдения. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 - Информационные технологии. - Украинская академия друкарства. - Львов, 2021.

В диссертационной работе решена важная научно-прикладная задача, которая касается разработке информационной технологии идентификации пламени на изображениях и их последовательностях на начальных этапах.

Проанализированы существующие методы обнаружения пожара как с помощью традиционных средств (пожарные извещатели), так и с помощью методов компьютерного зрения. Выявлены их основные преимущества и недостатки, оценена перспективность использования предложенного подхода к выявлению огня. Разработан метод выявления признаков пожара, который базируется на усовершенствованных традиционных методах: цветовой сегментации с

использованием модели  $L^*a^*b$  и кластеризации  $k$ -средних; обнаружения движущихся объектов по использованию метода разницы кадров и учетом возможного направления движения пламени. Разработана сверточная нейронная сеть, основанная на архитектуре сети SqueezeNet с ее последующей тонкой настройкой. Предложена архитектура, которая позволяет учесть вариативность размеров пламени с целью улучшения его классификации.

Разработан собственный набор изображений, который использовался для обучения классификатора и имеет высокий показатель идентификации относительно вариативности места, условий съемки и других факторов, которые могут осложнить процесс выявления возгорания.

Экспериментальные результаты свидетельствуют, что в результате использования разработанных методов и информационной технологии показатель точности в задачах детектирования пламени в среднем составляет 92%.

**Ключевые слова:** информационная технология, машинное обучение, видеокамеры, пламя, сверточные нейронные сети, искусственный интеллект, обработка данных, системы видеонаблюдения, генерирование, верификация, трансферное обучения.

## ABSTRACT

**Maksymiv O. P. Information technology of flame identification by convolutional neural networks in video surveillance systems. – Manuscript.**

The dissertation for obtaining scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.13.06 – Information technologies. Ukrainian Academy of Printing, 2021.

In the dissertation work, on the basis of the research carried out, an important scientific and applied problem was solved. This problem concerns the development of information technology for the identification of a flame in images and their sequences at the initial stages.

The existing methods of fire detection both with the help of traditional means (fire detectors) and with the help of computer vision methods are analyzed. Their main advantages and disadvantages are revealed, the prospects of using the proposed approach to fire detection are assessed. For the developed information technology of flame identification it is revealed the following environment settings that should be taken into account: environmental conditions that determine noise and light change (general weather conditions (fog, rain, etc.); visual visibility; time of day and location of the surveillance camera, which will affect the flame identification process (angle of inclination, height, observation area).

Was analyzed the features of the following color models: RGB, YUV, HSI, YCbCr and  $L^*a^*b$ . The obtained results show that despite the widespread use of the color segmentation method in fire detection problems, such method has a large number of false-positive challenges.

In contrast to existing approaches to flame detection in images, it was decided to develop a hypothesis generator that would allow to separate areas of images that by their characteristics can not resemble a flame. In comparison with other works, where the authors focused their efforts on achieving the max level of accuracy, the hypothesis generator aims to ensure the max level of precision.

A method for detecting regions of flame has been developed, which is based on improved traditional methods: color segmentation using the L\*a\*b model and k-means clustering; detecting moving objects using the frame difference method and taking into account the possible direction of the flame movement. Verification of the obtained regions based on the descriptor of local binary patterns, that has low complexity of calculations, stable when the level of lighting, noise and texture is changing. To improve the classification accuracy, various types of kernel classifiers were analyzed and it was decided to use an SVM classifier with a kernel based on radio-based functions.

The analysis of a set of images in which pre-designed flame detectors works with error, allow to identify two key difficulties: low quality of image and the impossibility of taking into account the full picture of the image by traditional detection methods.

For verifying obtained regions with flames a convolutional neural network based on the architecture of the SqueezeNet network with its subsequent fine tuning has been developed. An architecture is proposed that allows one to take into account the variability of the size of the flame in order to improve its classification.

Classifier, which is developed by using convolutional neural networks, is then used to predict the existence of flame, and a detector is followed to locate them accurately if available. A developed neural network contains two subnetworks that analyze object height and based on obtained results perform predictions to improve training and testing speed while also increasing detection accuracy. The network trains the deep SqueezeNet network x50 fewer parameters vs AlexNet but with the same accuracy. Developed own set of images (2647 image of flame), which was used to train the classifier and is characterized by a high rate of the variability of places, conditional surveys and other factors that can reveal the process of motion detection. To minimize the risk of False Negative or False Positive response for training is also used a database from ImageNet (1,2 mln., more than 1000 categories). Also, some image data augmentation techniques are used to expand the size of the training dataset: horizontal and vertical flip/shift, rotation, zoom, etc.

As a result of using the modified SqueezeNet model, it was possible not only to reduce the number of parameters without losing accuracy, but also the size of the model ~ 7 Mb. For comparison, the size of the GoogLeNet model is 41 MB, and the VGG-16 model is as much as 528 MB.

The overall efficiency of the obtained neural network without fine-tuning was 83.5%. Using a transfer approach, the network was further trained by adding additional weights at the exits of the network, which greatly improved the process of classifying visually similar objects. For this purpose, a pre-trained neural model based on ImageNet images was used, which allowed to add about 1000 additional categories. The overall efficiency after the transfer approach was 89%. Due to the use of morphological and transformational operations, the accuracy index improved by 2.4%.

Experimental results on benchmark fire datasets reveal the effectiveness of the proposed information technology and validate its suitable for life safety systems. The accuracy of the model on images (without motion information) is 86% and for image sequences (video) 92%.

**Keywords:** information technologies, machine learning, video cameras, fires, convolutional neural networks, artificial intelligence, data processing, video surveillance systems, generation, verification, transfer training.