

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

ГУСАК ОЛЕНА МИХАЙЛІВНА



УДК 004:[614.842.4:629.73-519]

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ
ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Приватному вищому навчальному закладі «Буковинський університет», м. Чернівці

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Виклюк Ярослав Ігорович,
Приватний вищий навчальний заклад «Буковинський університет», завідувач кафедри інформаційних систем і технологій (Чернівці).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Пасічник Володимир Володимирович,
Національний університет "Львівська політехніка",
професор кафедри інформаційних систем та мереж, Інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій;

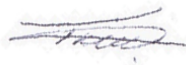
кандидат технічних наук, доцент
Цюцюра Микола Ігорович,
Київський національний університет будівництва та архітектури, доцент кафедри інформаційних технологій.

Захист відбудеться «01» 03 2019 р. о 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.874.02 у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій за адресою: 79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Львівського державного університету безпеки життєдіяльності за адресою: 79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

Автореферат розісланий «26» 01 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент



Р. Л. Ткачук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. Протипожежний захист лісів є однією з основних складових гарантування безпеки національних природних багатств, оскільки наслідки лісових пожеж є катастрофічними як для біосфери, так і для атмосфери, гідросфери, літосфери. Ефективність захисту лісів від пожеж безпосередньо залежить від раннього виявлення їх осередків та своєчасного оповіщення про небезпеку відповідних служб. Одним з основних напрямів вирішення зазначених завдань є вдосконалення інформаційно-технологічного забезпечення протипожежного захисту лісів, основою якого є створення інформаційних технологій, орієнтованих на мобільність та оперативність виявлення осередків лісових пожеж. Підґрунтям для їх розробки можуть бути розширення функціональних можливостей безпілотних літальних апаратів. Дослідженням у цій галузі присвячені роботи Яцківа В. В., Кузика А. Д., Товарянського В. І., Покровського Р., Комяка В., Стародуба Ю., Урсуляка П., Шевчука В., Богомолова В. Розробкам у галузі протипожежного моніторингу присвячені праці Chuvieco E., Chen YH, Li J., Peng GX, Hufford GL, Kelley HL, Moore RK, Cotterman JS, A. Lavrov, Yasar Guneri Sahin, Dupuy JL, Vachet P., Marechal J., Melendez J., de Castro AJ, Mutlu M., Popescu SC., Zhao KG, Bouabdellah K., Noureddine H., Larbi S. F. Frau та інших.

Сьогодні існує протиріччя між високим рівнем витрат на розробку високотехнологічних протипожежних засобів та їх недостатньою ефективністю. Відсутність надійних універсальних засобів розвідки осередків лісових пожеж на ранніх стадіях займання призводить до переростання малих осередків у широкомасштабні катастрофи. Усуненню цього протиріччя сприятиме залучення додаткових неспеціальних технічних ресурсів до складу інформаційних технологій раннього виявлення осередків лісових пожеж. Такими додатковими ресурсами, можливості та сфери застосування яких описані в дослідженнях Радецького В. Г., Цимбалістової О. А., Яцука К. В., Веремеєнко К. К., Красильщикова М. Н., Себрякова Г. Г., Тимоти У., Мак Лейна та ін., можуть стати сучасні безпілотні літальні апарати, технічні характеристики яких дають змогу паралельно до своїх специфічних завдань, здійснювати протипожежний моніторинг місцевості у фоновому режимі. Розширення їхніх інформаційно-технологічних можливостей дасть змогу у фоновому режимі, без додаткових витрат на високотехнологічне обладнання, отримувати інформацію про наявність осередків лісових пожеж та своєчасно сповіщати відповідні служби про пожежну небезпеку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано в межах науково-дослідної роботи Приватного вищого навчального закладу «Буковинський університет – «Розвиток методів і засобів інформаційних технологій складних стохастичних соціально-економічних систем в умовах невизначеності різних типів», Державний реєстраційний № 00112U008316.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розроблення інформаційної технології раннього виявлення лісових пожеж за допомогою безпілотних літальних апаратів на основі розширення їх інформаційно-технологічних

можливостей, що дає додаткову можливість отримувати оперативну інформацію про небезпеку лісової пожежі.

Для досягнення зазначеної мети необхідно розв'язати такі основні завдання:

1. Здійснити огляд інформаційно-технологічного забезпечення та математичного апарату моделей, що використовуються в інформаційних, інформаційно-пошукових та експертних системах підтримки прийняття рішень, призначених для моніторингу та протипожежного захисту лісів.

2. Вдосконалити математичні методи автоматизованого опрацювання інформації, що отримана з борту безпілотної літальної апарату з метою адаптації їх до технічних характеристик пристроїв управління.

3. Розробити математичний метод опрацювання відеопотоків для автоматизованого пошуку осередків лісових пожеж з використанням паралельних розрахунків у фоновому режимі.

4. Розробити інформаційну технологію сповіщення рятувальних служб в разі виявлення осередку лісової пожежі залученими безпілотними літальними апаратами індивідуальних користувачів.

5. Провести натурні експерименти з верифікації результатів, отриманих в ході тестування розробленої інформаційної технології.

Об'єкт дослідження – процеси моніторингу стану пожежної безпеки лісу.

Предмет дослідження – математичні моделі, методи та інформаційні технології раннього виявлення осередків лісових пожеж.

Методи дослідження ґрунтуються на таких математичних методах: методі еквалізації гістограм для покращення інформативності отриманих знімків, методі вейвлет-аналізу для зменшення розмірності знімків та зменшення шуму, методі нечіткої кластеризації для визначення точок кластеру пожежі, мережах Петрі для формалізації функціонування інформаційної технології, методах паралельних розрахунків для підвищення ефективності та швидкості розрахунків.

Наукова новизна одержаних результатів. У процесі розв'язання поставлених завдань автором отримано такі наукові результати:

Вперше:

– розроблена інформаційна технологія сповіщення про виявлені осередки лісової пожежі залученими неспеціалізованими безпілотними літальними апаратами, яка базується на розширенні їх інформаційно-технологічних можливостей, що дасть змогу додатково інформувати рятувальні служби та дозволяє покращити ефективність пожежної безпеки лісу;

– розроблений метод опрацювання відеопотоків для автоматизованого пошуку осередків лісових пожеж у фоновому режимі з використанням паралельних обчислень, що забезпечує розподіл та оптимізацію використання ресурсів безпілотних літальних апаратів та пристроїв управління.

– розроблений метод обробки відеопотоків для автоматизованого пошуку осередків лісових пожеж у фоновому режимі з використанням паралельних обчислень, що забезпечує розподіл та оптимізацію використання ресурсів безпілотних літальних апаратів та пристроїв управління.

Удосконалено:

– метод вейвлет-перетворення та частоти опрацювання кадрів шляхом автоматичної адаптації його параметрів до технічних характеристик пристроїв управління, що дало можливість вести протипожежний моніторинг у фоновому режимі, використовуючи стандартні пристрої управління безпілотними літальними апаратами – планшети, мобільні телефони тощо;

– метод автоматичного виявлення небезпеки лісової пожежі на основі автоматичного визначення відносної кількості точок зображення, яке належать до нечіткого кластеру неприродних кольорів, що дало можливість підвищити оперативність визначення осередків пожежі на цифрових зображеннях.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена інформаційна технологія визначення осередків лісових пожеж дає можливість:

– розширити функціональні інформаційно-технологічні можливості залучених безпілотних літальних апаратів завдяки мультипроцесорній та мультимашинній архітектурі, що забезпечить своєчасне сповіщення про осередок лісової пожежі і сприятиме уникненню широкомасштабної лісової пожежі;

– підвищити ефективність інформаційних систем протипожежного моніторингу лісових насаджень шляхом використання залучених безпілотних літальних апаратів, опрацювання та виведення інформації в on-line режимі, що дасть змогу вирішити інформаційно-технологічне завдання забезпечення оперативності отримання інформації про наявність осередків лісових пожеж;

– створювати системи підтримки прийняття рішень на основі розширення функціональних інформаційно-технологічних можливостей неспеціалізованих інформаційно-технічних ресурсів, що можуть бути залучені до складу систем оцінки поточної оперативної пожежної ситуації, прогнозування пожежонебезпеки, проведення робіт з класифікації лісів за ступенем пожежонебезпеки, розрахунку оптимізації часових, фінансових і технічних витрат для організації робіт з гасіння та ліквідації наслідків лісових пожеж, що забезпечить екологічну стійкість лісових господарств.

Реалізація результатів та впровадження. Результати дисертаційного дослідження впроваджено та використовуються під час відпрацювання тактико-спеціальних навчань з ліквідації великих лісових пожеж на території Чернівецької області та моніторингу лісових масивів в пожежонебезпечний період підрозділами Управління Державної служби надзвичайних ситуацій України в Чернівецькій області (Акт впровадження – вих. №85673, від 20.12.2017 р. виданий Відділом реагування на надзвичайні ситуації Управління Державної служби надзвичайних ситуацій України у Чернівецькій області), в діяльності сектора з обслуговування комп'ютерної техніки Чернівецької обласної ради в системах підготовки операторського персоналу в сенсі методичного доповнення до існуючих методів оцінювання ефективності операторської діяльності, надання можливості здійснення якісного підбору операторського персоналу, оптимізації роботи людини-оператора як складової частини сучасної інформаційної системи (Акт впровадження – вих. №851 від 08. 07.2016 р.), а також в освітній діяльності кафедри комп'ютерних систем і технологій Приватного вищого навчального закладу «Буковинський університет» при викладанні курсів «Системи розпізнавання образів», «Нейронні мережі»,

«Інтелектуальний аналіз даних», «Операційні системи», «Чисельні методи», «Крос-платформне програмування», «Розробка інтелектуального інтерфейсу «людина-система», «Інформаційні технології паралельних розрахунків», «Технології розподілених систем і паралельних обчислень», а також при виконанні курсових та магістерських кваліфікаційних робіт (Акт впровадження № 185/К від 28.12. 2018 р.).

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати, подані в дисертації, одержані здобувачем особисто. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача такий: [1–2] – методи голографічної асоціативної пам'яті для виявлення малих змін в об'єктній сцені; [5] – визначення людиною-оператором джерел лісових пожеж за супутниковими знімками; [6] – методи вейвлет-аналізу для опрацювання супутникових знімків лісових пожеж; [12] – психофізичні аспекти опрацювання візуальної інформації, поданої на моніторі; [14] – вдосконалення процесів розпізнавання об'єктів на супутникових знімках; [15] – методи і засоби підвищення інформативності даних дистанційного зондування Землі; [16] – інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж; [17] – пропозиція шляхів та методів підвищення ефективності протипожежного моніторингу лісу.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на міжнародних та всеукраїнських конференціях і семінарах, зокрема на Міжнародній конференції SPIE (Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича, 2013 р.), Міжнародній науково-технічній конференції “Системний аналіз та інформаційні технології” (Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, 2016–2017 р.р.), Міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології, економіка і право. Шляхи та перспективи розвитку (ІТЕП)” (2014–2017 р.р.); наукових семінарах у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя (2016р.), Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності (2018 р.).

Результати дисертаційного дослідження регулярно доповідались на наукових семінарах кафедри інформаційних систем і технологій Приватного вищого навчального закладу «Буковинський університет».

Публікації. Основні результати роботи викладено в 22 опублікованих працях, у тому числі 7 статтях у наукових фахових виданнях України та 3 статтях – в наукових періодичних виданнях інших держав, що індексуються у наукометричних баз даних, у 12 публікаціях – у збірниках тез конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 216 найменувань та трьох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 187 сторінок, у тому числі основного тексту 145 сторінок. Дисертація містить 13 таблиць і 24 рисунки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, сформульовано мету та основні завдання, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про зв'язок роботи з науковими темами, а також про апробацію роботи, особистий внесок дисертанта, публікації, обсяг і структуру дисертації.

Перший розділ присвячений аналізу інформаційних джерел з теми дисертаційного дослідження, який засвідчив, що переважна кількість пожеж виникає через масові порушення вимог пожежної безпеки з боку населення, в період найбільшого рекреаційного навантаження на ліси. Для посилення заходів безпеки доцільним є залучення безпілотних літальних апаратів індивідуальних користувачів, що у фоновому режимі здійснюватимуть додатковий моніторинг лісу та оповіщатимуть про небезпеку.

У результаті аналізу існуючих інформаційних систем та технологій раннього виявлення лісових пожеж було виявлено протиріччя між великою кількістю дороговартісних високотехнологічних протипожежних засобів та спалахом великої кількості лісових пожеж, які вони не в змозі передбачити та завчасно виявити. Тому залучення додаткових засобів спостереження зможе підвищити ефективність протипожежного захисту лісу.

Результати аналізу сфер застосування сучасних безпілотних літальних апаратів доводять, що при використанні відповідного програмного забезпечення, залучення безпілотних технічних засобів суттєво збільшує ефективність багатьох видів моніторингу і вони з успіхом можуть бути задіяні до розв'язку задач раннього виявлення осередків лісових пожеж.

У результаті проведеного аналізу наявних інформаційних систем управління безпілотними літальними апаратами встановлено, що існує широкий спектр алгоритмів, які інтегровані в інформаційні системи та використовуються для широкого спектру задач навігації та пошуку осередків лісових пожеж, однак всі вони розраховані на спеціалізовані дороговартісні безпілотні літальні апарати і не використовують технічні ресурси індивідуальних користувачів.

Аналіз математичних методів та алгоритмів, які використовуються при розробці інформаційних систем управління безпілотними літальними апаратами, а також методів і алгоритмів цифрового опрацювання зображень, що надійшли з борту безпілотного літального апарату, дав змогу встановити, що жодна з ІС не вирішує в повному обсязі задачі моніторингу об'єктів у фоновому режимі. Тому існує необхідність розроблення математичних методів опрацювання зображень за допомогою паралельних розрахунків і адаптації їх до технічних характеристик пристроїв управління безпілотними літальними апаратами.

Другий розділ присвячений удосконаленню математичних методів автоматизованого опрацювання інформації, яку отримано з борту безпілотного літального апарату, для вирішення інформаційно-технологічної задачі виявлення осередків лісових пожеж. Вдосконалено метод адаптації параметрів вейвлет-перетворення опрацювання зображень до технічних характеристик пристроїв управління безпілотними літальними апаратами. Вдосконалено метод автоматичного виявлення небезпеки лісової пожежі на основі автоматичного визначення відносної кількості точок зображення, що належать до нечіткого кластера неприродних кольорів. Розроблено метод опрацювання відеопотоків на основі розпаралелювання математичних розрахунків, що забезпечує розподіл та оптимізацію використання ресурсів безпілотних літальних апаратів і пристроїв управління.

Для визначення оптимального математичного забезпечення було проаналізовано відомі методи сучасної комп'ютерного опрацювання цифрових зображень з метою виявлення переваг та недоліків останніх. Основним критерієм служило співвідношення швидкості та якості розпізнавання.

У результаті аналізу була сформована гіпотеза про існування певної комбінації найефективніших методів опрацювання зображень, яка зможе дати швидкий і надійний результат в покращенні їх інформативності, а саме:

- підвищення контрастності зображення (К);
- вейвлет-перетворення (В);
- кластеризація (Кл).

Однак вони потребують вдосконалення та адаптації з урахуванням мультиплатформних та апаратних характеристик пристроїв управління безпілотними літальними апаратами.

Визначені математичні методи покладені в основу інформаційної технології раннього виявлення осередків лісових пожеж, призначенням якої є виявлення осередків пожеж в лісових масивах, за допомогою алгоритму, який представлений як сукупність процедур опрацювання зображення.

Оскільки опрацювання сигналу проходить у режимі реального часу, то схему прийняття рішень зручно представити у вигляді мереж Петрі (рис. 1).

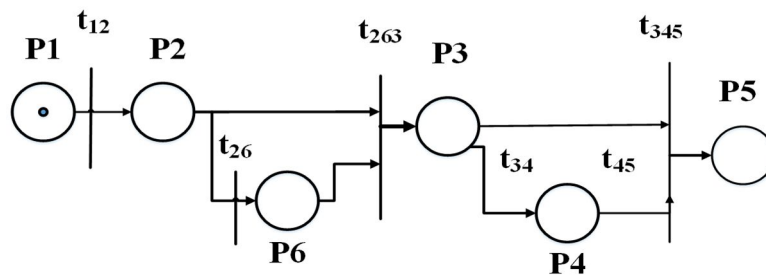


Рисунок 1. Мережа Петрі прийняття рішення про наявність осередку лісової пожежі

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6\} - \text{позиції};$$

$$T = \{t_{12}, t_{26}, t_{263}, t_{34}, t_{45}, t_{345}\} - \text{переходи}$$

Принцип прийняття рішення складається з наступних трьох етапів:

1. Адаптація параметрів вейвлет-перетворення до технічних характеристик пристрою управління.
2. Навчання нейронної мережі.
3. Прийняття рішення на основі навченої нейронної мережі чи нечіткої логіки та донавчання останньої.

Незалежно від етапу роботи, відеосигнал, отриманий з безпілотного літального апарату, проходить попереднє опрацювання за допомогою перетворення контрастності та вейвлет-перетворення.

Для визначення об'єкта запалювання запропоновано використати методи кластеризації, що розділять всю множину кольорів відеоряду на природні,

неприродні (на кшталт осередку пожежі) та штучні (на кшталт намету чи одягу людей).

Формалізоване представлення математичного апарату наведено нижче:

$$\begin{aligned}
 Video^i &= \left\{ Cadr_1^i, Cadr_2^i \dots Cadr_{n_i}^i \right\}, \\
 Connect: Video^i &\rightarrow Operator, \\
 S(Operator) &= \langle Etap_1, Etap_2, Etap_3 \rangle, \\
 Etap_1: Cadr_j &\xrightarrow{\text{перетворення контрасту}} Cadr_j', \\
 Etap_2: Cadr_j' &\xrightarrow{\text{вейвлет-перетворення}} \overline{Cadr_j'} = (C'_{j1}, C'_{j2}, \dots, C'_{jn}), \\
 Etap_3: \overline{Cadr_j'} &\xrightarrow{\text{кластеризація } k\text{-means, } c\text{-means}} Class_k.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Для ефективної роботи та прийняття рішення необхідно знайти оптимальне співвідношення між точністю визначення осередку пожежі та часом опрацювання.

Оскільки опрацювання відеопотоків відбувається на пристроях користувачів, то основним завданням є адаптація математичних методів до певних швидкісних характеристик пристроїв.

Адаптація параметрів моделі (рис. 2, P6) відбувається на серії з k кадрів, які проходять всі етапи опрацювання, в тому числі навчання нейронної мережі. Після чого оцінюється час попереднього опрацювання зображень та час кластеризації, що

не має перевершувати тривалості одного кадру (1/30 с). У випадку неможливості задовольнити цим критерієм система переходить у режим аналізу кожного l -го кадру. Критерієм оптимізації є рівень квантування вейвлет-перетворення n та частота опрацювання кадрів l .

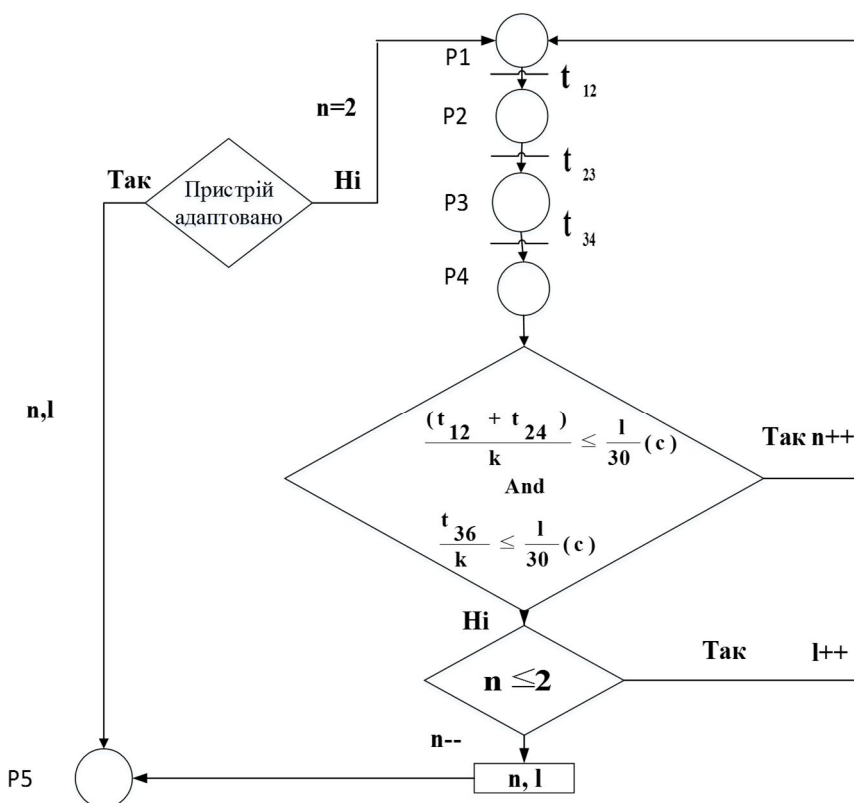


Рисунок 2. Мережа Петрі алгоритму адаптації параметрів вейвлет-перетворення до технічних характеристик пристроїв управління

У якості методу перетворення контрастності була обрана еквалізація гістограм. Це дає змогу з великою швидкістю і без додаткових налаштувань підвищити контрастність знімка, що містить задимлене чи зашумлене зображення, згідно з яким:

$$Cadr'_j = \int_0^1 f(\omega)_{Cadr_j} d\omega, \quad (2)$$

де $f(\omega)_{Cadr_j}$ – функція щільності розподілу ймовірностей рівнів яскравості кадру, що опрацьовується. Щоб зменшити розмір зображення з мінімальними втратами інформації, що є необхідною умовою для підвищення швидкості навчання нейронної мережі, в якості наступного етапу опрацювання було обране вейвлет-перетворення. Основною ідеєю цього методу є заміна множини базових тригонометричних функцій, при якій враховуються інтегральні характеристики всього сигнального ряду, при цьому виникають нові функції, що максимально враховують поведінку сигналу в околі дослідженої точки і обмежують вплив значень сигналу, які віддалені від дослідженої точки сигналу. Основними критеріями налаштування перетворення слугували тип вейвлет-функції та процент нульових вейвлет-коефіцієнтів:

$$\vec{Cadr}'_j \left(C'_{j_1}, C'_{j_2}, \dots, C'_{j_n} \right) = WF(Cadr'_j, F_w, Z), \quad (3)$$

де F_w – вейвлет-функція, Z – процент нульових коефіцієнтів, n – рівень квантування, $C'_{j_1}, C'_{j_2}, \dots, C'_{j_n}$ – квантовані зображення кадру $Cadr'_j$.

Для визначення осередків запалювання були протестовані різні види методів кластеризації. Основна гіпотеза використання цих методів полягала в тому, щоб розділити кольори кадрів кластери природного та неприродного походження. Перевагою цього підходу є швидкість прийняття рішення та відсутність прив'язки до контурів шуканого об'єкта, а отже, є можливість визначення осередків пожеж крізь гілки та інші завади.

У якості методів були обрані: метод k -середніх (k -means), алгоритм fuzzy c -means та карти Кохонена. Під час тестування було встановлено, що для цього класу задач карти Кохонена показали найдовший час навчання. Методи k -means та fuzzy c -means показали приблизно однакові показники часу навчання, однак для автоматичного аналізу зручним виявився fuzzy c -means:

$$\vec{Class}_j(\mu_1, \mu_2, \mu_3) = FC(C'_{j_1}), \quad (4)$$

де C'_{j_1} – квантоване зображення першого рівня вейвлет-перетворення, FC – функція кластеризації, μ_1, μ_2, μ_3 – матриці функцій належності точок зображення до кластера 1, 2, 3 відповідно. Критерієм для автоматичного повідомлення про небезпеку є визначення відносної кількості точок зображення, що належать до нечіткого кластера

неприродних кольорів α -рівня:

$$Signal = \begin{cases} 1, & \frac{\sum_{p=1, \mu_{2p} > \alpha}^m 1}{m} > P \\ 0, & \frac{\sum_{p=1, \mu_{2p} > \alpha}^m 1}{m} \leq P \end{cases}, \quad (5)$$

де m – кількість точок зображення C'_{j1} , P – порогове значення точок зображення, що належать до другого кластера α -рівня.

Рішення про автоматичне інформування диспетчерського пункту рятувальної служби приймається, якщо протягом серії з S послідовних кадрів $Signal$ буде дорівнювати одиниці.

Оскільки процес прийняття рішень можна розбити на серію інформаційно незалежних частин, то для прискорення опрацювання даних було розроблено метод автоматизованого пошуку осередків лісових пожеж із використанням паралельних розрахунків у фоновому режимі, що забезпечує розподіл та оптимізацію використання ресурсів безпілотного літального апарату (рис. 3). Оскільки більшість сучасних пристроїв управління оснащені чотириядерними процесорами, то метод був оптимізований саме для них. Алгоритм розрахунку, згідно з запропонованим методом, виглядає таким чином:

Етап навчання.

– Кожен кадр отриманого відеопотоку проходить попередню обробку на першому ядрі процесора та наповнює навчальну вибірку для навчання нейронної мережі.

– Після формування початкової навчальної вибірки з n кадрів, вона подається на друге ядро для навчання нейронної мережі.

– Поки триває навчання нейронної мережі, перше ядро доповнює навчальну вибірку.

Етап прийняття рішень складається з циклів донавчання та кластеризації:

– Після завершення навчання навчена нейронна мережа передається на третє ядро для проведення кластеризації кадрів та формування вихідного відеоряду. Відеодані для цього надходять в режимі реального часу з першого ядра.

– Отримана доповнена навчальна вибірка з першого ядра передається на донавчання на друге ядро, після чого формує наступну навчальну вибірку.

– Друге ядро проводить донавчання мережі. Після закінчення навчання цикл повторюється.

У разі виявлення осередку лісової пожежі у відповідності з формулою (5), вихідний відеоряд разом з оригіналом пересилається на пульт рятувальної служби, де оператор визначає осередки лісової пожежі та оцінює вигорілі ділянки лісу, після чого приймає остаточне рішення про термінове вживання спеціальних заходів

пожежогасіння чи залучення додаткових безпілотних літальних апаратів для дообстеження території.

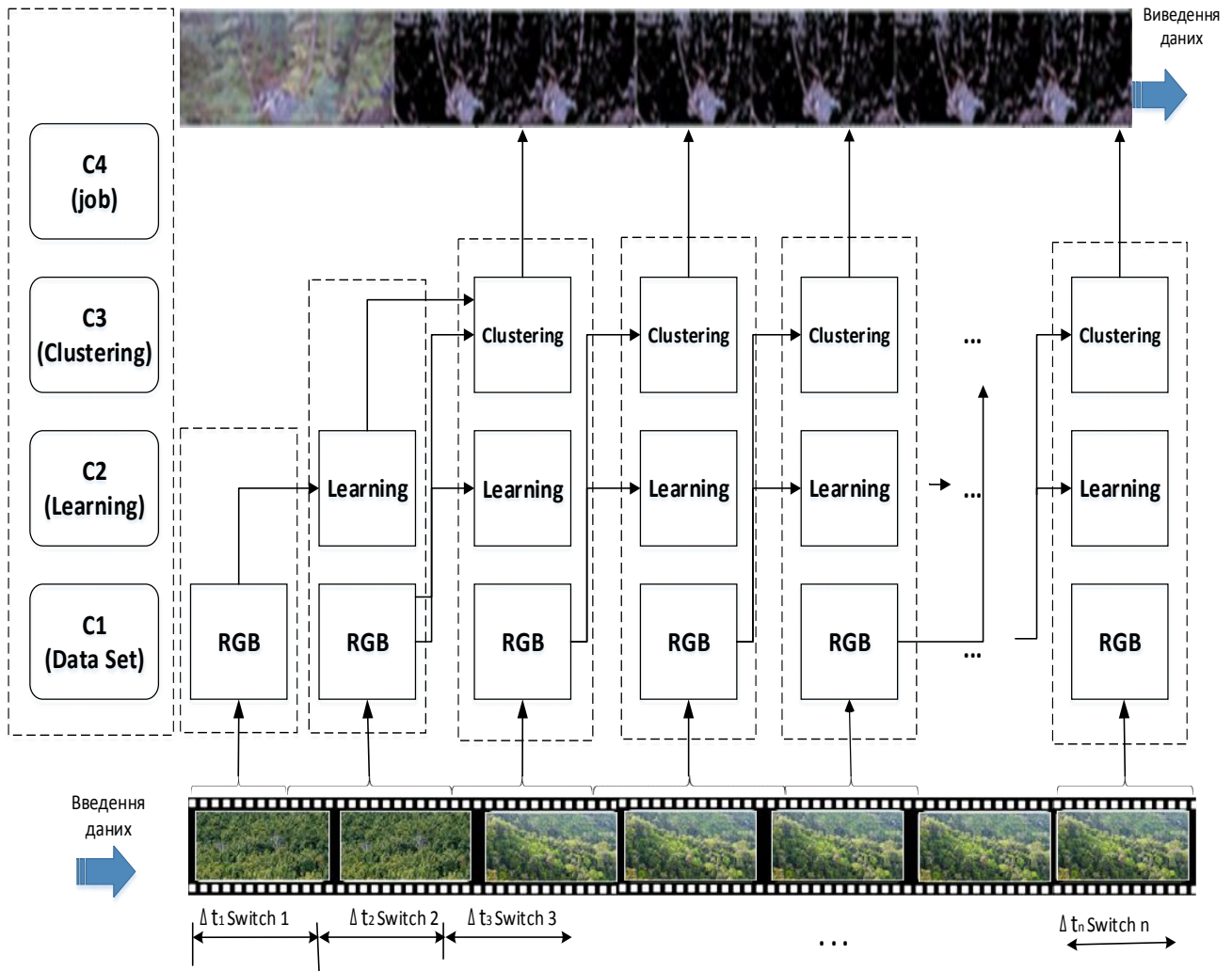


Рисунок 3. Структурна схема функціонування розподілених розрахунків визначення осередків лісових пожеж

У **третьому** розділі розглядаються шляхи вдосконалення системи протипожежної охорони лісу, проводиться огляд та аналіз інформаційно-технічних характеристик безпілотних літальних апаратів та пристроїв управління і на основі цього аналізу розробляється інформаційна технологія, покликана підвищити ефективність моніторингу лісових пожеж. Пропонована технологія заснована на розширенні наявних інформаційно-технологічних можливостей залучених на добровільній основі неспеціалізованих безпілотних літальних апаратів.

Користувачі безпілотних літальних апаратів – як офіційні установи, організації, так й усі охочі індивідуальні оператори – можуть взяти участь у спеціальній програмі співробітництва, подібній до програми «Місцеві експерти» від GoogleMaps». У рамках цієї програми, під час планових польотів, квадрокоптери паралельно виконують додаткову функцію – оповіщення рятувальних служб про небезпеку займання лісу. Розроблена інформаційна технологія раннього виявлення осередків займання має можливість у випадку потрапляння в кадр небезпечної ділянки оперативно подати сигнал у відповідні служби. Для перевірки та уточнення цієї

інформації можуть бути залучені інші безпілотні літальні апарати, що виконують політ у радіусі доступності. Розширення інформаційно-функціональних можливостей безпілотних літальних апаратів, що здійснюють моніторинг у фоновому режимі, дозволить вдосконалити інформаційну систему раннього оперативного виявлення осередків лісових пожеж. Залучення мультипроцесорної та мультимашинної архітектури до складу пропонованої інформаційної технології раннього оперативного виявлення осередків лісових пожеж надає можливість без використання додаткового обладнання, за рахунок розподілу ресурсів (працюють лише відеокамери, що входять до базової комплектації) та залучення інших безпілотних літальних апаратів здійснювати якісний протипожежний моніторинг лісів.

Модифікована функціональна схема інформаційно-технологічного забезпечення моніторингу лісових пожеж з використанням пропонованої інформаційної технології наведена на рисунку 4.

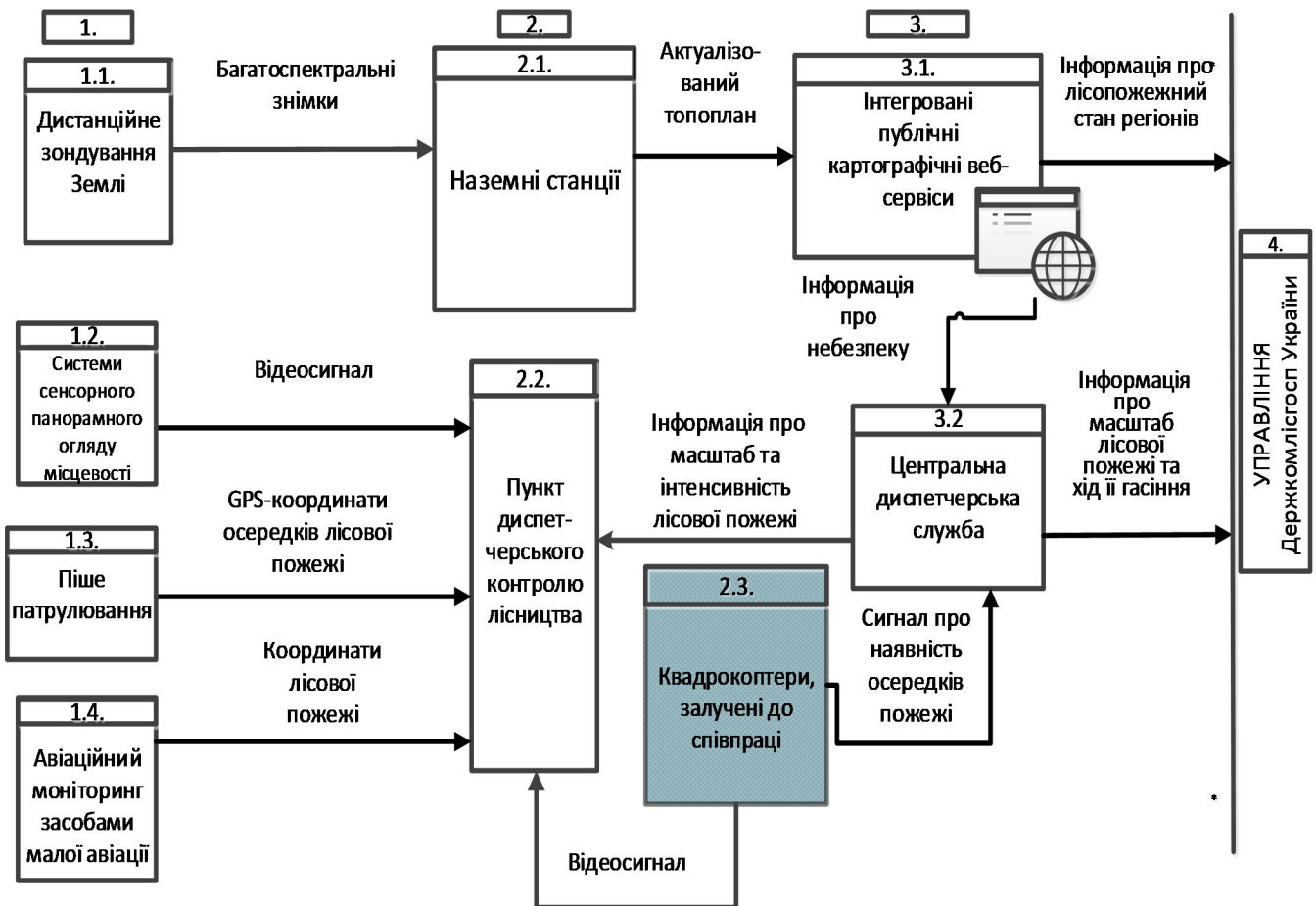


Рисунок 4. Функціональна схема інформаційно-технологічного забезпечення моніторингу лісових пожеж

Як видно з рисунка, залучені безпілотні літальні апарати працюють в автономному режимі (блок 2.3). Аналіз відеопотоків проводиться на багатоядерних пристроях управління користувачів. У разі виявлення осередку пожежі, на пункт диспетчерського контролю лісництва передається відеопотік (фотозображення) підозрілої ділянки для подальшого аналізу й опрацювання на сервері з подальшим

прийняттям рішення. Паралельно інформується центральна диспетчерська служба, що приймає рішення про подальші дії.

Для визначення сегменту можливих залучених безпілотних літальних апаратів в розділі проведено аналіз технічних характеристик квадрокоптерів та пристроїв управління. Розраховано площі, які можуть бути проскановані одним квадрокоптером. Обґрунтовано мінімальний набір технічних характеристик, необхідних для включення безпілотних літальних апаратів до інтеграції в систему моніторингу.

Пропонована в дослідженні інформаційна технологія дає змогу оперативно, з мінімальними витратами часу, коштів та людських ресурсів, отримати оперативну інформацію про виникнення лісових пожеж, оскільки здатна зменшити час опрацювання зображень та звести до мінімуму кількість помилок розпізнавання, що у підсумку допоможе вдосконалити систему охорони лісів від пожеж.

У четвертому розділі представлено програмне забезпечення, що яке дає змогу реалізувати розроблену інформаційну технологію. Проведені натурні експерименти з верифікації отриманих результатів.

Для реалізації алгоритмів перетворення та для дослідження ефективності попереднього опрацювання зображень засобами високорівневої мови програмування MatLab була створена прикладна програма, особливістю якої є можливість керування потрібними діями в процесі опрацювання (зокрема, налагоджувати ступінь зміни контрастності, змінювати кількість кластерів), а також можливість порівняти ефективність використання різної комбінації математичних методів.

У якості випробуваних в експерименті взяли участь 120 студентів Буковинського університету у віці 18–20 років, які володіють навичками роботи з персональним комп'ютером.

Перед тестуванням на реальних результатах розробленої інформаційної системи виявлення осередків лісових пожеж були проведені тести на визначення та врахування особливостей психоемоційного стану учасників експерименту, було проведено додаткове їх тестування за методикою САН (самопочуття, активність, настрої) та тестування особистісної тривожності за шкалою Спілберґера-Ханіна.

Експерименти проводились як для серії відеорядів, так і для статичних знімків. Тестувались такі комбінації математичних методів:

- кластеризація (Кл);
- комбінація методів підвищення контрастності зображення та кластеризації (К+Кл);
- комбінація методів вейвлет-перетворення та кластеризації (В+Кл);
- комбінація методів підвищення контрастності зображення, вейвлет-перетворення, кластеризації (К+В+Кл).

Було здійснено більш ніж 1000 тестових розрахунків та проведено порівняння результатів. Як показали проведені розрахунки, система змогла працювати в режимі

реального часу з опрацюванням кожного кадру, коли рівень розкладу вейвлет-перетворення дорівнював 4.

Приклади результатів перетворення наведені на рисунку 5.




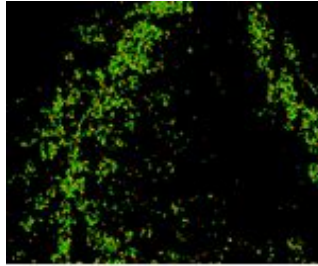
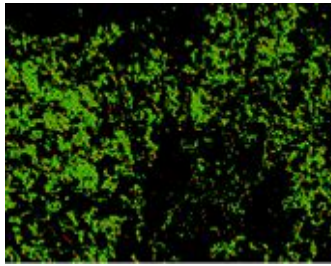
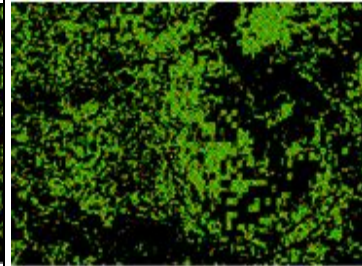
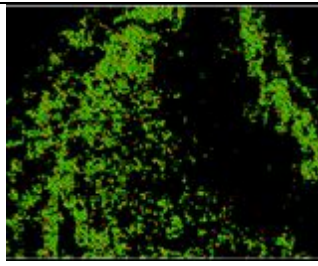
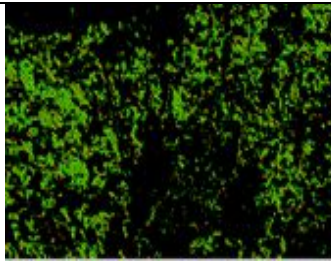
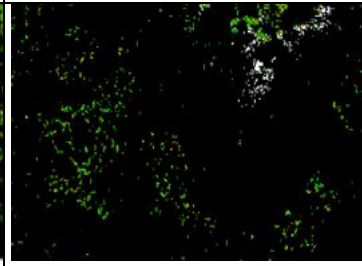
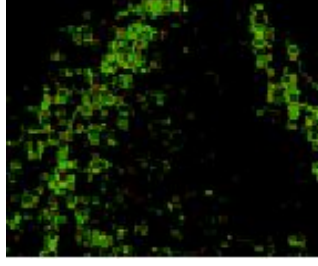
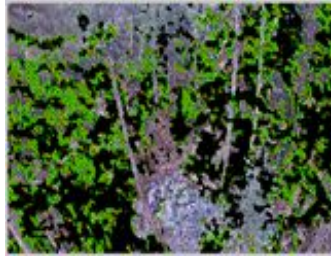
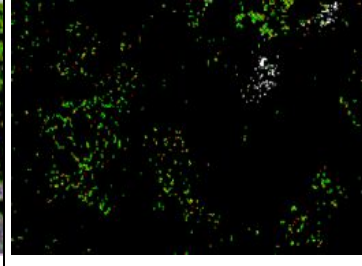
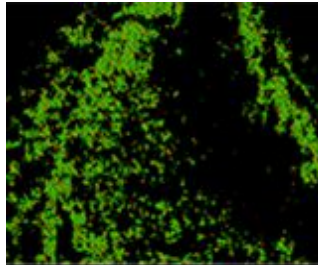
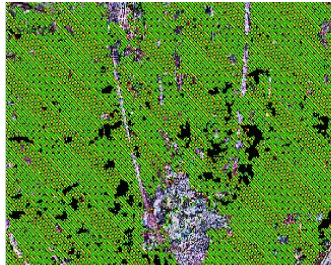

	Зображення 1	Зображення 2	Зображення 3
Оригінальне зображення			
Кл			
К+Кл			
В+Кл			
К+В+Кл (c-means)			

Рисунок 5. Результат опрацювання цифрових зображень

У якості тестових відеопотоків виступали зйомки з безпілотного літального апарату із середньої висоти вигорілих ділянок трави (зображення 1), осередку пожежі в лісі зашумлених гілками дерев (зображення 2) та зйомка з максимальної висоти (зображення 3). Як видно з рисунку 5, після застосування комбінації методів

підвищення контрастності, вейвлет-перетворення та кластеризації інформативність вихідних цифрових зображень суттєво підвищилася, що підтверджує доцільність використання вищезазначених методів. Нами також були визначені оптимальний вигляд вейвлет-функції та кількість рівнів вейвлет-розкладу.

У результаті кластеризації утворюється набір точок, що належить до згорілих ділянок. Наявність точок цього кластера є індикатором для автоматичного виявлення осередку пожежі. У цьому випадку інформація передається на центральний диспетчерський пункт для аналізу та прийняття рішення про залучення протипожежних засобів. Було доведено, що швидкість опрацювання даних сучасними комп'ютерами та смартфонами є достатньою для реалізації пропонуваніх математичних методів при роботі в режимі реального часу; показано, що система дає змогу передавати оригінальний та перетворений відеоряд на пульт рятувальної служби для підтвердження або спростування наявної небезпеки.

Таким чином, розроблена інформаційна система дає можливість передавати оригінальний та перетворений відеоряд на пульт рятувальної служби для підтвердження сигналу небезпеки.

Для перевірки ефективності запропонованих моделей було проведене дослідження часових характеристик опрацювання інформації людиною-оператором – порівняння часу та безпомилковості розпізнання людиною лісових пожеж на оригінальних зображеннях та зображеннях, опрацьованих за допомогою створеної інформаційної технології.

Порівняння часу та безпомилковості розпізнання людиною лісових пожеж на оригінальних зображеннях та зображеннях, опрацьованих за допомогою створеної інформаційної технології, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати експерименту з розпізнавання зображень

Критерії	Людина		Інформаційна (Ноутбук ASUS F541NC-GO054T (90NB0E93-M00700))		
	При показі неопрацьованих зображень	При показі опрацьованих зображень	n=4, l=1 (k-means/c-means)	n=6, l=2 (k-means/c-means)	n=8, l=2 (k-means/c-means)
Середній час розпізнання, с	10	2	0,03	0,03	0,03
Середній % вірних відповідей (спрацьовувань)	70	90	75/78	78/80,5	80/82
Кількість випадків «зображення не розпізнане»	30	10	25/24	22/20	20/20

Як видно з таблиці 1, час розпізнавання оператором пожежі на опрацьованих знімках скоротився в 5 разів порівняно з оригінальними. Час опрацювання і прийняття рішення автоматичною системою, що працює під системою Windows на комп'ютері ASUS F541NC-GO054T (90NB0E93-M00700), не перевищує тривалості одного кадру. Тобто система може працювати в режимі реального часу.

Якість прийняття рішення оператором підвищилась з 70% до 90%, а також суттєво скоротилась кількість хибних відповідей. Як видно з результатів експериментів, кількість правильних спрацьовувань автоматичної системи є достатньо високою (80%), однак цей показник є нижчим від показників операторів, а отже система може використовуватись як дорадча. З таблиці також, що кластеризація методом *c-means* показує кращий результат за *k-means* в режимі автоматичної фіксації осередків лісових пожеж. Результати тестування дозволяють зробити висновок про те, що запропонована інформаційна технологія володіє достатньою швидкістю та якістю розпізнавання осередків лісових пожеж і здатна підвищити ефективність моніторингу та протипожежного захисту лісів.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-технічну задачу – розроблення інформаційної технології раннього виявлення осередків запалювання лісових пожеж на основі розширення інформаційно-технологічних можливостей неспеціалізованих безпілотних літальних апаратів. При цьому отримано такі основні результати:

1. У результаті огляду інформаційно-технологічного забезпечення та математичного апарату моделей, що використовуються при функціонуванні безпілотних літальних апаратів було встановлено, що існує широкий спектр алгоритмів, які інтегровані в інформаційні системи та використовуються для вирішення багатьох задач навігації, однак жодна з ІС не вирішує задач моніторингу об'єктів, в тому числі й осередків лісових пожеж, у фоновому режимі. Також встановлено, що не існує загальноприйнятої методології застосування математичних методів та їх автоматичної адаптації до технічних характеристик пристроїв управління.

2. Розроблена інформаційна технологія сповіщення рятувальних служб залученими неспеціалізованими безпілотними літальними апаратами в разі виявлення осередку лісової пожежі, яка базується на розширенні їх інформаційно-технологічних можливостей, що дасть змогу додатково інформувати ДСНС, а отже, покращити ефективність пожежної безпеки лісу. На основі проведеного аналізу технічних характеристик безпілотних літальних апаратів та пристроїв управління виділено мінімальний набір вимог, необхідних для їх інтеграції в розроблену інформаційну технологію.

3. Вдосконалено метод автоматичної адаптації параметрів вейвлет-перетворення та частоти кадрів, шляхом автоматичного налаштування параметрів математичних методів залежно від технічних характеристик пристроїв управління безпілотним літальним апаратом за критерієм швидкість-якість розпізнавання для безперебійного функціонування інформаційної системи у фоновому режимі.

4. Вдосконалено метод автоматичного виявлення небезпеки лісової пожежі на основі визначення відносної кількості точок зображення, що належать до нечіткого кластера неприродних кольорів α -рівня, що дає змогу автоматично повідомляти про осередки лісової пожежі.

5. Розроблений метод опрацювання відеопотоків для автоматизованого пошуку осередків лісових пожеж у фоновому режимі з використанням паралельних обчислень, розрахований на використання пристроїв управління із чотириядерними процесорами, що забезпечує розподіл та оптимізацію використання ресурсів безпілотного літального апарату та пристрою управління.

6. Проведені натурні експерименти, які дали змогу встановити оптимальні налаштування параметрів та порівняти ефективність функціонування розробленої інформаційної системи порівняно з людиною-оператором, що підтвердило ефективність запропонованої інформаційної технології. Зокрема, час розпізнавання оператором пожежі на опрацьованих знімках скоротився в 5 разів порівняно з оригінальними. Якість прийняття рішення оператором підвищилась з 70% до 90%, що підтвердило ефективність запропонованої інформаційної технології.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у міжнародних наукових виданнях і тих, що входять до міжнародних наукометричних баз (МНБ):

1. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Volume quadric hologram-based associative memories. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2014. Vol. 23, No 4. P. 225–232. **Видання включено до МНБ – SCOPUS.**

2. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Optical correlation approach to all-optical holographic associative memories. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2014. Vol. 23, No 1, P. 12–25. **Видання включено до МНБ – SCOPUS.**

3. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Self conjugation heteroassociative memories using thin static nonlinearly recorded holograms. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2014. No 2. P. 74–83. **Видання включено до МНБ – SCOPUS.**

Статті у наукових фахових виданнях України:

4. Вершигора В. Г., Гусак О. М. Аналіз ефективності визначення людиною-оператором джерел лісових пожеж за супутниковими знімками. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2013. № 1/2 (61). С. 17–19.

5. Гусак О. М., Вершигора В. Г. Застосування методики вейвлет-аналізу для обробки супутникових знімків лісових пожеж. *Науковий Вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць*. 2013. № 23. С. 366–371.

6. Гусак О. М. Шляхи підвищення ефективності розпізнавання і класифікації об'єктів на супутникових знімках. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2013. № 4. С. 9–11.

7. Гусак О. М. Організація експериментального дослідження психологічних механізмів забезпечення ефективності роботи операторів. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2013. № 5. С. 6–8.

8. Гусак О. М. Побудова лінійної математичної моделі людини-оператора. *Технологічний аудит і резерви виробництва*. 2015. № 2. С. 68–72.

9. Гусак О. М. Інформаційна технологія раннього виявлення осередків лісових пожеж. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2017. № 15. С. 33–38.

10. Гусак О. М. Інформаційна технологія підвищення інформативності цифрових зображень епіцентрів лісових пожеж. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету*. 2017. № 27. С. 177–181.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

11. Камінський Р. М., Гусак О. М.. Психофізичні аспекти опрацювання візуальної інформації, наданої на моніторі. *Інформаційні технології, економіка та право: стан та перспективи розвитку – 2011* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернівці, 23-24 лют. 2011 р. Чернівці, 2011. С. 34.

12. Гусак О. М. Ефективність сприйняття інформації людиною-оператором. *Інформаційні технології, економіка та право – 2012* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернівці, 28–31 бер. 2012 р. Чернівці, 2012. С.7.

13. Vyklyuk Y. I., Husak O. M. Ways to Improve objects recognition end classification in satellite images. *Natural Hazards Links between Science and Practice* : International Conference Proc., Belgrade, Serbia, Oct 8 – 11 2013. Belgrade, 2013. P. 12.

14. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Optical correlation aspect of holography: from ghost-imaging to static phase-conjugation holographic associative memories. *Eleventh International Conference on Correlation Optics*. 2013 : SPIE Proc, Vol. 9066, 99660H.

15. Гусак О. М. Принципы инженерно-психологического обеспечения операторской деятельности в системах «человек-машина». *Європейська наука XXI століття – 2013*. : матеріали ІХ міжнар. наук.-практ. конф., м. Пшемишль, Польща, 07–15 трав. 2013 р. Пшемишль, 2013. С.72–75.

16. Гусак О. М. Особливості постановки та проведення експерименту по вивченню психофізичних особливостей оператора в системах опрацювання зорових образів. *Прикладні наукові розробки – 2013*. : матеріали ІХ міжнар. наук.-практ. конф., м. Прага, Чехія, 27.07–05 серп. 2013 р. Прага, 2013. С. 3–5.

17. Гусак О. М. Застосування методів математичної морфології при побудові математичної моделі розповсюдження пожежі. *Інформаційні технології, економіка та право – 2014* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернівці, 3–4 квіт. 2014 р. Чернівці, 2014. С.41–42.

18. Гусак О. М. Інтеграція вищої освіти в національну інноваційну систему (аналіз вивчення досвіду Франції) / О. М. Гусак // *Проблеми формування та розвитку інноваційної інфраструктури* : тези доповідей міжнар. наук.-практ. конф., м. Львів, 19–21 травня 2011 р. Львів, 2011. – С. 424–426.

19. Виклюк Я. І., Гусак О. М. Методи і засоби підвищення інформативності даних дистанційного зондування Землі. *Системний аналіз та інформаційні технології* («System Analysis and Information Technologies») : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 30 трав. 2016 р. Київ, 2016. С.334.

20. Виклюк Я. І., Гусак О. М. Інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж. *Системний аналіз та інформаційні технології (System Analysis and Information Technologies)* : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 22–25 трав. 2017 р. Київ, 2017. С.261.

21. Гусак О. М. Інформаційна технологія раннього виявлення осередків лісових пожеж. *Інформаційні технології, економіка та право – 2017* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернівці, 27-28 квіт. 2017 р. Чернівці, 2017. С. 135–136.

22. Виклюк Я. І., Гусак О. М. Шляхи підвищення ефективності протипожежного моніторингу лісу. *Системний аналіз та інформаційні технології (System Analysis and Information Technologies)* : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 21–24 травня 2018 р. Київ, 2018. С.216.

АНОТАЦІЯ

Гусак О. М. Інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж за допомогою безпілотних літальних апаратів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, 2019.

Дисертація присвячена розробці інформаційної технології розширення функціональних можливостей неспеціалізованих безпілотних літальних апаратів для раннього виявлення лісових пожеж.

На основі розширення інформаційно-технічних ресурсів сучасних безпілотних літальних апаратів розроблено інформаційну технологію раннього виявлення джерел запалювання лісу, яка підвищує ефективність протипожежного захисту, надаючи додаткову можливість інформування про небезпеку. Розроблено метод обробки відеопотоків для автоматизованого пошуку джерел запалювання у фоновому режимі з використанням паралельних обчислень, що забезпечує розподіл та оптимізацію використання ресурсів безпілотних літальних апаратів та пристроїв управління. Шляхом автоматичної адаптації математичних параметрів до технічних характеристик пристроїв управління, удосконалено метод вейвлет-перетворення та метод обробки кадрів залежно від частоти, що дає змогу вести моніторинг у фоновому режимі, використовуючи стандартні пристрої. Удосконалено метод автоматичного виявлення джерел запалювання шляхом автоматичного визначення відносної кількості точок цифрового зображення, що належать до нечіткого кластера неприродних кольорів.

Ключові слова: інформаційна технологія, безпілотний літальний апарат, протипожежний моніторинг лісу, математичні методи обробки зображень, програмне забезпечення, паралельні розрахунки.

АННОТАЦИЯ

Гусак Е. М. Информационная технология раннего обнаружения лесных пожаров при помощи беспилотных летательных аппаратов. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности, Львов, 2019.

Диссертация посвящена разработке информационной технологии расширения функциональных возможностей неспециализированных беспилотных летательных аппаратов для раннего обнаружения лесных пожаров.

На основе расширения информационно-технических ресурсов современных беспилотных летательных аппаратов разработана информационная технология

раннего выявления очагов возгорания леса, которая повышает эффективность противопожарной защиты, предоставляя дополнительную возможность информирования об опасности. Разработан метод обработки видеопотоков для автоматизированного поиска очагов возгорания в фоновом режиме с использованием параллельных вычислений, что обеспечивает распределение и оптимизацию использования ресурсов беспилотных летательных аппаратов и устройств управления. Путем автоматической адаптации математических параметров к техническим характеристикам устройств управления, усовершенствованы метод вейвлет-преобразования и метод обработки кадров в зависимости от частоты, что позволяет вести мониторинг в фоновом режиме, используя стандартные устройства. Усовершенствован метод автоматического обнаружения очагов возгорания путем автоматического определения относительного количества точек цифрового изображения, принадлежащих к нечеткому кластеру неестественных цветов.

Ключевые слова: информационная технология, беспилотный летательный аппарат, противопожарный мониторинг леса, математические методы обработки изображений, программное обеспечение, параллельные расчеты.

ABSTRACT

O. M. Husak. Information technology for early detection of forest fires using unmanned aerial vehicles. – qualifying research paper on the rights of a manuscript.

Dissertation for the academic degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.13.06 – Information Technologies. Lviv State University of Life Safety, Lviv, 2019.

The dissertation is devoted to the development of information technology to expand the functionality of non-specialized unmanned aerial vehicles for the early detection of forest fires.

On the basis of the analysis performed, it can be stated that one of the main requirements for the protection of forests from fire is effective monitoring, ensuring the earliest possible detection of hot spots. Compliance with this requirement is impossible without the use of information technologies that ensure the early detection of the danger of a forest fire and the timely notification of the relevant services. Their introduction into the practice of the forest fire fighting system is the key to the rapid response of emergency crews and the prevention of the growth of small hot spots of forest fire into a large-scale environmental catastrophe.

The developed information technology is designed to eliminate the existing contradiction between the high level of costs for the development of high-tech fire-fighting equipment and their insufficient efficiency, as evidenced by the analysis of statistical data.

The essence of the proposed information technology is to attract additional non-technical resources, namely, unmanned aerial vehicles, whose owners are individual users, to the fire monitoring process, and detection of forest fires in the early stages of fire. Involving individual operators of unmanned aerial vehicles – participants of mass events held outdoors to the cooperation, will increase the effectiveness of fire monitoring. During scheduled flights, an unmanned aerial vehicle, in parallel with its scheduled tasks, performs an additional function – detects forest fires and notifies the appropriate services about the danger of forest fires, which makes it possible to improve a modern forest fire protection system without additional costs for high-tech equipment.

To solve the problems stated in the study, there has been developed a method for processing video streams that allows making automated search of forest fires in the background using parallel computing, which ensures distribution and optimization of the use of unmanned aerial vehicle resources and control devices.

The solution of the information technology problem of ensuring the efficiency of obtaining information on the presence of forest fires is provided by improving the methods of processing digital images and video sequences, which allowed them to be used in the course of monitoring and evaluating extreme situations on-line. In the course of the study, the automatic adaptation of mathematical parameters to the technical characteristics of control devices improved the wavelet transform method and the method of frame-by-frame video processing depending on the frame rate, which allows monitoring in the background using standard control devices such as tablets, smartphones, etc. .

The method of automatic detection of forest fires has been improved on the basis of automatic determination of the relative number of image points belonging to a fuzzy cluster of unnatural colors, which makes it possible to increase the efficiency of determining fire sources on digital images.

The developed information technology for the early detection of forest fires, suggesting the expansion of the functional information and technological capabilities of modern unmanned aerial vehicles due to the multiprocessor and multi-machine architecture, provides the possibility of timely notification of relevant services about the presence of a forest fire source, preventing the occurrence of a large-scale forest fire.

In the course of the study, software was developed that allows implementing the created information technology.

Field experiments were carried out, which allowed setting the optimal settings for clustering and wavelet transform parameters for processing digital images transmitted from an unmanned aircraft.

The comparative analysis of the results of the functioning of the information system of automatic detection of digital sources of fire on digital images and the results of a similar task performed by a human operator, confirmed the effectiveness of the proposed information technology.

In the future the developed information technology will make it possible to create decision-taking support systems based on expanding the functional information and technological capabilities of non-specialized information and technical resources that can be used in systems for assessing the current operational fire situation, predicting fire danger, and classifying forests according to fire risk, calculation of optimization of time, financial and technical costs for the organization of work on extinguishing and elimination of the consequences of forest fires, will ensure increased environmental sustainability of forestry.

Key words: information technology, unmanned aerial vehicle, fire monitoring of the forest, mathematical methods of image processing, software, parallel computing.

Підписано до друку 24.01.2019. Формат 60x84/16.
Папір офсетний. Друк різнографічний. Ум.-друк. арк, 0,9.
Обл.-вид.арк. 0,9. Тираж 100. Зам. А-003п.
Видавництво та друкарня Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича
58002, Чернівці, вул. Коцюбинського, 2
e-mail: ruta@chnu.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №891 від 08.04.2002 р.

