

243 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/242218065_Autonomy_Self-Governance_and_Conflict_Resolution_Innovative_Approaches_to_Institutional_Design_in_Divided_Societies (дата звернення: 11.10.2025).

DOI <https://doi.org/10.36059/978-966-397-570-2-19>

Щур Г. О.,

*аспірант кафедри систем штучного інтелекту
Національного університету «Львівська політехніка»
м. Львів, Україна*

Думин О. Б.,

*кандидат технічних наук, старший викладач
Національного університету «Львівська політехніка»
м. Львів, Україна*

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО РОЗМІНУВАННЯ ДЕОКУПОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ

Вступ. Забезпечення надійного виявлення небезпечних об'єктів є критично важливим у багатьох сферах – від автономного транспорту до систем безпеки на виробництві. Традиційні системи розпізнавання, що покладаються лише на один тип датчика (наприклад, стандартну RGB-камеру), часто виявляються недостатньо ефективними за несприятливих умов (погане освітлення, часткові оклюзії, негода) [1]. Ці обмеження зумовлюють необхідність мультимодального аналізу, який поєднує дані з різних типів сенсорів – камер, LiDAR, тепловізорів, тактильних сенсорів тощо – для підвищення достовірності розпізнавання [1].

Процес гуманітарного розмінування територій, забруднених вибухо-небезпечними предметами, є однією з найактуальніших проблем сучасної України [2]. Значна частина деокупованих земель залишається замінованою, що створює серйозну загрозу життю цивільного населення та гальмує післявоєнну відбудову. Використання роботизованих систем у сфері розмінування є перспективним напрямом, адже такі системи дозволяють мінімізувати ризики для саперів, підвищити ефективність очищення територій та прискорити проведення операцій [3].

Актуальність. Нагальна потреба у швидкому й безпечному розмінуванні деокупованих територій України робить актуальним розвиток інтелектуальних систем, здатних аналізувати дані з різних сенсорів.

Впровадження мультимодальних систем аналізу дає змогу виявляти приховані загрози більш надійно, комбінуючи переваги візуальних, просторових та теплових сенсорів [4].

Віртуальне моделювання (VR) і навчальні симулятори дають змогу готувати операторів розмінувальних роботів у безпечному середовищі, без ризику для життя [5]. Такі тренажери дозволяють моделювати реальні сценарії роботи роботів-саперів, випробовувати алгоритми навігації та розпізнавання небезпечних об'єктів, що суттєво підвищує якість підготовки фахівців [5].

Огляд літератури. Сучасні підходи до глибинного навчання в об'єктній детекції висвітлено у роботі [2], де описано тенденції розвитку convolutional-архітектур для підвищення точності розпізнавання. Автори [6] підкреслюють переваги глибинного мультимодального злиття, яке об'єднує дані різних типів сенсорів на рівні ознак.

Автори [4] запропонували гібридну модель на основі нейронних мереж для виявлення мін за допомогою ультраширококусового радара, довівши можливість автоматизації процесу підповерхневого розпізнавання. В роботі [5] розглянуто застосування технологій віртуальної реальності для моделювання сценаріїв керування роботами-саперами у безпечних умовах. Автори [1] у праці *mmFUSION* обґрунтували ефективність проміжного злиття ознак (*intermediate fusion*) з використанням механізмів уваги, що дає змогу адаптивно зважувати внесок кожного сенсора.

Методологія. У межах дослідження запропоновано уніфіковану інтелектуальну систему мультимодального аналізу для розмінювання, яка поєднує дані кількох сенсорів, механізми уваги та оцінку ризику в єдиному циклі роботи.

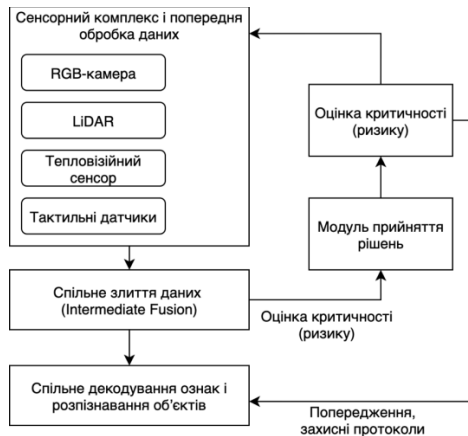


Рис. 1. Загальна схема роботи інтелектуальної системи

Запропонована система складається з п'яти основних модулів, що описані нижче.

1. **Сенсорний комплекс та попередня обробка даних.** До складу комплексу входять RGB-камера, LiDAR, тепловізійний сенсор і, за потреби, тактильні датчики. Первинна обробка передбачає придушення шумів, нормалізацію, формування тривимірних ґрат заповненості та міжсенсорну синхронізацію.

2. **Модуль проміжного злиття даних.** На цьому етапі реалізується інтеграція ознак різних модальностей за допомогою двоетапного attention-механізму [1]: спершу оцінюється релевантність кожного сенсора в конкретному контексті, після чого обчислюється спільне представлення у вигляді зваженої суми ознак.

3. **Модуль спільного декодування ознак і детекція об'єктів.** Інтегровані представлення подаються на 3D-декодер, який оцінює просторове положення, клас та достовірність виявлених об'єктів.

4. **Модуль оцінювання критичності (ризик).** Для кожного об'єкта обчислюється показник criticality score на основі метричних відстані, швидкості зближення та орієнтації, що дає змогу пріоритизувати загрози, найбільш небезпечні для сапера або платформи.

5. **Модуль прийняття рішень.** Зведений індекс безпеки формується як комбінація впевненості моделі у виявленні та критичності об'єкта. Якщо цей індекс перевищує встановлений поріг, система генерує попередження або ініціює захисні протоколи.

Предбачається інтеграція цієї архітектури у VR-середовище для симуляції сценаріїв розмінування та тестування алгоритмів без ризику для людей.

Очікувані результати та перспективи впровадження. На поточному етапі виконано теоретичне обґрунтування системи, аналіз існуючих підходів та розроблено базову архітектуру мультимодального проміжного злиття.

Очікується, що після реалізації прототипу система зможе:

- забезпечити підвищену точність виявлення мін та інших небезпечних об'єктів у складних умовах;
- зменшити кількість хибних спрацьовувань завдяки оцінці критичності;
- скоротити час навчання операторів через VR-моделювання реальних сценаріїв;
- створити основу для масштабованої платформи гуманітарного розмінування у післявоєнній відбудові.

У подальшому планується реалізація програмного прототипу, інтеграція з реальними сенсорами та проведення експериментів у віртуальних полігонних середовищах.

Висновки. Інтелектуальні системи мультимодального аналізу відкривають нові можливості для безпечного та ефективного розмінування деокупованих територій України. Запропонований підхід поєднує VR-технології навчання з аналітичними алгоритмами штучного інтелекту, що використовують механізми уваги та проміжне злиття даних. Результати теоретичних досліджень доводять потенціал цього напрямку як технологічної основи для створення автономних систем гуманітарного розмінування.

Список використаних джерел:

1. Ahmad J., Del Bue A. *mmFUSION: Multimodal Fusion for 3D Objects Detection*. arXiv preprint arXiv:2311.04058, 2023.
2. Arya C., Tripathi A., Singh P., Diwakar M., Sharma K., Pandey H. Object detection using deep learning: a review. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, 1854(1):012012. DOI: 10.1088/1742-6596/1854/1/012012.
3. Fedorenko H., Fesenko H., Kharchenko V. Analysis of methods and development of a concept for guaranteed detection and recognition of explosive objects. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 2022, № 4(22), с. 20–31.
4. Lytvyn V., Peleshchak I., Peleshchak R., Mediakov O., Pukach P. Development of a hybrid neural network model for mine detection by using ultrawideband radar data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2023, 3/9(123):78–85. DOI: 10.15587/1729-4061.2023.279891.
5. Shchur H. Intelligent system for demining robot control in a virtual environment. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 2024, 335(3(1)):326–329. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-335-3-43.
6. Zhao F., Zhang C., Geng B. Deep Multimodal Data Fusion. *ACM Computing Surveys*, 2024, 56(9): Article 216. DOI: 10.1145/3649447.