

**В. М. Данилик, В. В. Литвин, З. Л. Рибчак**

Національний університет "Львівська Політехніка", м. Львів, Україна

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ РАДІОТЕХНІЧНОЇ РОЗВІДКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ТА ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ

Досліджено методи та засоби визначення об'єктів радіотехнічної розвідки з використанням технологій машинного навчання та онтологічного підходу. Для визначення об'єктів радіотехнічної розвідки використано наївний байєсівський класифікатор. Наївний Байєсівський класифікатор є алгоритмом машинного навчання, який використовується для класифікації об'єктів на підставі ймовірностей. Встановлено, що наївний Байєсівський класифікатор використовується для визначення класів, до яких належать об'єкти радіотехнічної розвідки. Класифікатор використовує історичні дані про властивості об'єктів, щоб визначити ймовірності належності кожного об'єкта до певного класу. Наприклад, на підставі властивостей діапазону робочих частот, тривалості імпульсу, періоду повторення імпульсів та кількості джерел радіовипромінювань можна визначити ймовірність того, що об'єкт належить до певного класу засобів радіотехнічної розвідки. Для задання класів, до яких належать об'єкти радіотехнічної розвідки використано онтологічний підхід. Онтологічний підхід використовують для задання класів об'єктів радіотехнічної розвідки з метою створення ясної та однозначної моделі предметної області. Це дає змогу структурувати знання про об'єкти, їх властивості та взаємозв'язки, що спрощує подальший аналіз даних і дає змогу більш точно класифікувати нові об'єкти. Удосконалено процес класифікації об'єктів у військовій галузі, а саме засобів радіотехнічної розвідки шляхом поєднання методів k-найближчих сусідів, наївного байєсівського класифікатора та онтологічного підходу, що, на відміну від наявних методів, перед застосуванням класифікатора здійснюється кластеризація об'єктів із метою врахування діапазонів, у межах яких визначені ознаки об'єктів. Аналіз вхідних ознак показав, що основними ознаками для визначення засобів радіотехнічної розвідки є: "діапазон робочих частот"; "тривалість імпульсу"; "період повторення імпульсів"; "кількість джерел радіовипромінювань". Розроблено інформаційну систему класифікації засобів радіотехнічної розвідки, центральною компонентою якої є онтологія засобів радіотехнічної розвідки.

Проведено імітаційне моделювання роботи розроблених методів та алгоритмів. Обґрунтовано вибір програмних засобів для реалізації розроблених методів із метою подальшого впровадження на різних платформах. Для реалізації функціонального наповнення системи використано мову програмування JavaScript з використанням бібліотеки JQuery. Проведене моделювання показує задовільний результат розроблених методів та алгоритмів.

Ключові слова: машинне навчання, класифікація, наївний байєсівський класифікатор, онтологія, об'єкти радіотехнічної розвідки.

Вступ / Introduction

Однією з основних проблем визначення та ідентифікації військових об'єктів є пошук та виявлення засобів радіотехнічної розвідки (РТР) противника. Завдяки цим засобам противник виявляє наші авіаційні бортові радіолокаційні засоби, визначає просторові координати наших об'єктів та параметрів сигналів випромінювання. Тому виявлення та ураження РТР противника є ключовою задачею [1]. Для цього доцільно використовувати методи та технології машинного навчання. Аналіз вхідних ознак показав, що основними ознаками для визначення РТР є: "Діапазон робочих частот"; "тривалість імпульсу"; "період повторення імпульсів"; "кількість джерел радіовипромінювань" [2]. Наявність робочих датасетів для навчання моделей машинного навчання показав, що найкращою моделлю є наївний байєсівський класифікатор. Варто додати, що засоби РТР взаємопов'язані між собою. Тому, щоб відобразити такі зв'язки, для опису класів засобів РТР

найкраще використати онтологічний підхід. На підставі цієї онтології здійснюється ідентифікація РТР.

Об'єкт дослідження – процес визначення об'єктів радіотехнічної розвідки противника.

Предмет дослідження – методи та засоби визначення об'єктів радіотехнічної розвідки з використанням технологій машинного навчання та онтологічного підходу.

Мета роботи – розроблення методів та засобів визначення об'єктів радіотехнічної розвідки противника для підвищення ефективності дій власних збройних сил.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- проаналізувати програмні рішення визначеної проблеми;
- визначити вимоги до класифікації об'єктів радіотехнічної розвідки;
- відобразити результати дослідження.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз програмних рішень визначеної проблеми. Станом на 2022 рік можна виділити ряд популярних і успішних програмних рішень, які призначені або допомагають класифікації (ідентифікації) об'єктів. Ці системи не обов'язково мають військове спрямування, але їхня мета полягає у подоланні тих самих проблем, що виникають під час командування та управління командами тактичних ланок.

Fandom є веб-платформою, де користувачі обмінюються інформацією на різноманітні теми. Під час аналізу *Fandom* були знайдені статті та дискусії, які стосуються використання машинного навчання. У цих матеріалах розглядаються сучасні технології, методи та алгоритми, які можуть бути використані для класифікації об'єктів радіотехнічної розвідки.

Ще одним прикладом є *Klassify*, *Data Classification Suite* – платформа класифікації даних, яка допомагає організаціям дотримуватись політики класифікації даних. Вона забезпечує користувачам можливість застосувати відповідну класифікацію до даних, які вони створюють, обмінюються та зберігають, з урахуванням чутливості даних. *Klassify* сприяє виконанню різних нормативних вимог, таких як PCI DSS, EU GDPR, HIPAA, DPA, CCPA та інших, надаючи детальні метадані та контекстну інформацію для кращого керування інформацією та ефективності організації.

Також варто відзначити *Dataedo*, який є популярним інструментом для керування метаданими. Він дозволяє користувачам організувати дані та обмінюватися ними у форматі HTML. *Dataedo* допомагає знайти значення даних, надаючи відомості про набори даних. Він дозволяє встановлювати зв'язки між наборами даних і таблицями для кращого розуміння даних. Використання *Dataedo* сприяє впорядкуванню даних та полегшує керування бізнес-процесами.

Аналіз *Fandom*, *Klassify* та *Dataedo* у контексті розробки програми для класифікації об'єктів радіотехнічної розвідки засвідчив наявність різних елементів, які сприяли розробці цієї програми. Зокрема, це нові методи аналізу радіосигналів, використання алгоритмів машинного навчання, розробка онтології для визначення об'єктів та використання програмних інструментів для моделювання та документування баз даних та побудови класифікаційних систем. Все це створює основу для розробки програми, яка здатна класифікувати об'єкти радіотехнічної розвідки з використанням технологій машинного навчання та онтологічного підходу. В результаті можна сформулювати наукову новизну і практичну значущість результатів дослідження.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Пропонована нами система є кросплатформною, здійснює роботу з даними в реальному часі, захищена в локальній мережі та матиме можливість інтеграції інформації з наявними системами. Розроблена система задовольняє такі вимоги до програмної платформи та коду:

1. Програма розроблена з використанням HTML + CSS + JS + JQuery.

2. Користування програмою доступне за протоколом HTTPS (з криптографічним захистом обміну даними між веб-сайтом та робочим місцем).

3. Програмне забезпечення забезпечує функціонування в режимі 24 години на добу, 7 днів на тиждень, 365 днів на рік (за умови безвідмовного функціонування апаратного забезпечення).

4. Програмне забезпечення не вимагає перерв на регламентне обслуговування або резервне копіювання інформаційного змісту.

5. Програма дає змогу користувачам виконувати такі операції:

– керування параметрами – користувач має мати можливість вводити дані, які будуть параметрами для класифікатора;

– класифікація об'єктів радіотехнічної розвідки – отримання ймовірності класу, до якого належить об'єкт із вхідними даними;

– миттєве оновлення – оновлення результату після кожної зміни вхідного параметра.

Методи та засоби визначення об'єктів радіотехнічної розвідки. Програма для класифікації об'єктів для радіотехнічної розвідки передбачає наявність класифікатора, який буде класифікувати об'єкти. Використовуючи різноманітні архітектурні рішення, було розроблено діаграму класів, яка зображає основну структуру програми, пов'язану з класифікацією (рис. 1) [4]. Проте класифікаційні алгоритми та дані можуть швидко змінюватися. Використовуючи шаблонні класи, архітектура дає можливість міняти клас, який відповідає за дані об'єкту, що піддається класифікації і потенційно може змінитись [5]. Отже, лишається тільки створити новий клас, що реалізує інтерфейс *IClassifier* відповідного типу для опрацювання нових моделей даних чи нових алгоритмів. В даній системі класифікатор має повертати ймовірності всіх класів, а значить і спеціальні об'єкти, як і зображено на діаграмі. Даний підхід розроблення є об'єктно орієнтований, що означає, що сутності програми є повноцінні об'єкти, які взаємодіють між собою [6].

Програма для класифікації радіотехнічної розвідки використовує такий алгоритм класифікації об'єктів РТР (рис. 2). Діаграма зображує сам процес виконання класифікації в програмі [7].

Алгоритм використовує метод k-найближчих сусідів [8] та наївного байєсівського класифікатора [9]. Він використовує значення помилок, щоб визначити відстань між характеристикою та цільовою характеристикою. Логарифмічна функція використовується для нормалізації дистанцій та забезпечення прийнятного діапазону значень. Кожна характеристика має однакову вагу для алгоритму. Це означає, що, якщо три з чотирьох характеристик матимуть значення, а четверта матиме значення 0, то результат буде 75 %. Після отримання всіх значень ймовірностей для класів, алгоритм формує об'єкт, щоб повернути остаточну структуру даних з усією необхідною інформацією [10].

Програма для класифікації об'єктів РТР. Програма для класифікації об'єктів радіотехнічної розвідки працює через веб-браузер. Для її функціонування використовується бібліотека JQuery – невелика, багатоплатформна та багатифункціональна бібліотека JavaScript. Ця бібліотека розроблена для спрощення сценаріїв HTML на стороні клієнта, що дає змогу легко обходити HTML-документи та маніпулювати ними, робити анімацію, обробляти події та виконувати AJAX-запити. Це здійснюється за допомогою простого API, який працює в багатьох різних типах веб-браузерів.

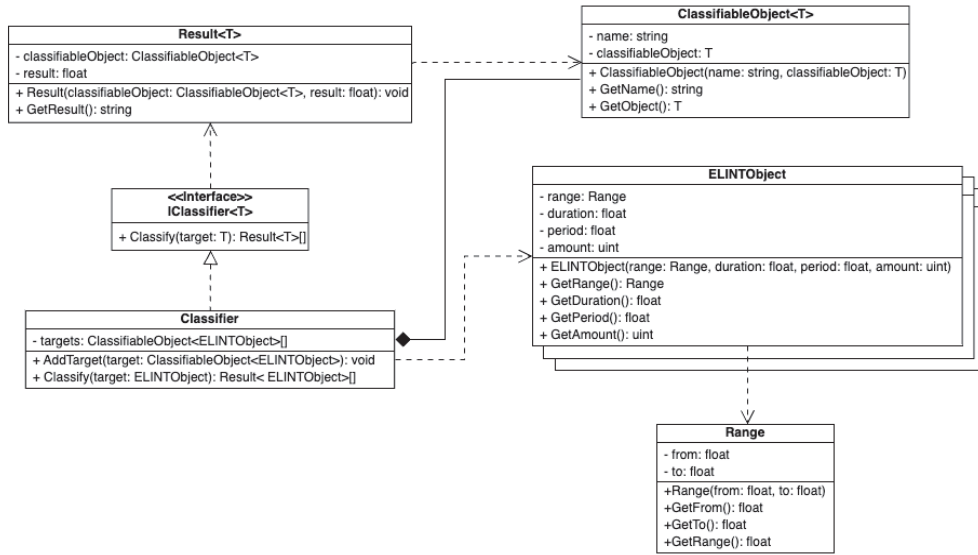


Рис. 1. Діаграма класів програми класифікації об'єктів радіотехнічної розвідки / Class diagram of the program for the classification of radio technical intelligence objects

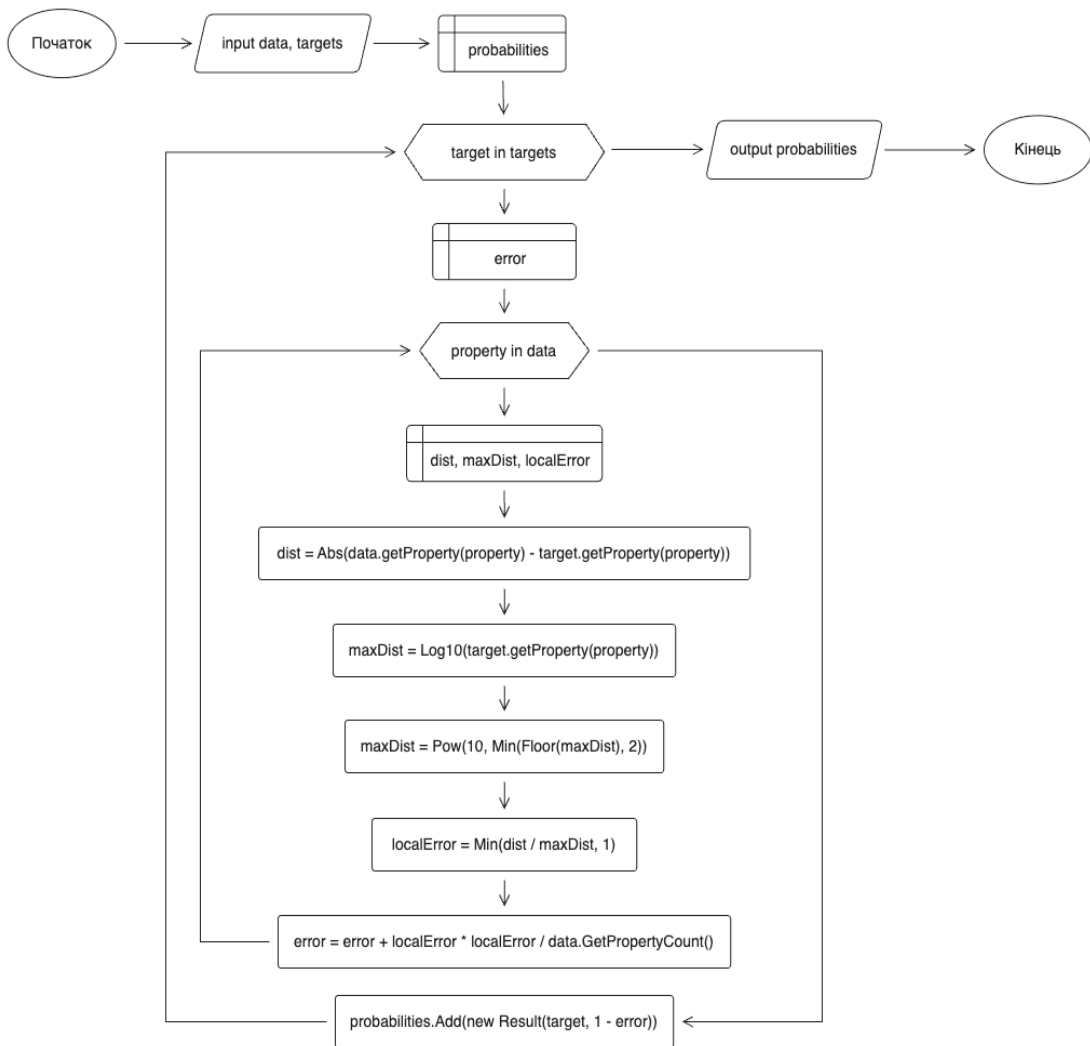


Рис. 2. Блок-схема алгоритму класифікації об'єктів радіотехнічної розвідки / Block diagram of the classification algorithm of radio technical intelligence objects

Перед розробкою проекту був розгорнутий локальний сервер XAMPP та було організовано робочий простір у Visual Studio Code [11]. Це дало можливість використовувати програму в браузері через локальну мережу, що зробило процес розроблення більш ефективним. Після цього було розроблено верстку графічного інтерфейсу.

Програма написана на мові JavaScript [12]. Для забезпечення зручності та швидкості розширення програми було використано атрибути, що надають інформацію про клас [13]. Отже, для додавання нових об'єктів із атрибутами та отримання ймовірності належності вхідного об'єкту до цих нових класів, потрібно тільки додати відповідні атрибути. Програма написана у формі статичного ресурсу на сервері, що дає змогу XAMPP запускати її в браузері за допомогою простого HTTP запити, проте система має елементи системи, що

працює у реальному часі, зокрема для отримання інформації не потрібно переходити між сторінками, всі дані реагують на вхідну інформацію та видають результат миттєво [14]. Алгоритм класифікатора шукає діапазон, до якого належать ознаки "діапазон робочих частот"; "тривалість імпульсу"; "період повторення імпульсів"; "кількість джерел радіовипромінювань". Для цього використано теорію нечітких множин.

При запуску програми користувач відкриває у браузері одне вікно, через яке відбувається взаємодія з програмою. Після входу на сторінку програми (рис. 3), користувач може вводити параметри для роботи класифікатора [15]. Кожна зміна параметра відразу ж спричинює класифікацію об'єкта методом байєсівського класифікатора та вивід ймовірності приналежності об'єкта до наявних класів.

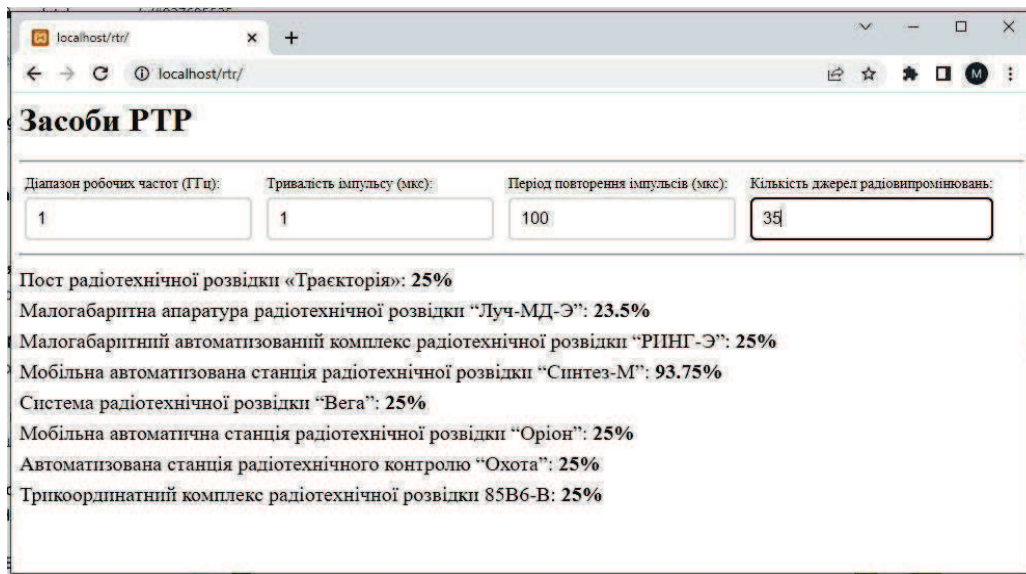


Рис. 3. Графічний інтерфейс програми для класифікації об'єктів для радіотехнічної розвідки / Graphical interface of the program for classification of objects for radio technical intelligence

Обговорення результатів дослідження. Дослідження включало аналіз популярних програмних рішень, таких як: Fandom, Klassify і Dataedo, які відіграють важливу роль у класифікації об'єктів та управлінні даними.

Оцінювання та порівняння найближчих аналогів можна здійснити за допомогою базових показників:

- платформа – кількісне оцінювання;
- операційна система – кількісне оцінювання;
- мова програмування – оцінювання переваг (краще/добре/гірше);
- необхідні ресурси – оцінювання переваг (більше/менше);
- інтегруєбельність – булеве оцінювання (так/ні);
- об'ємність – булеве оцінювання (так/ні);
- масштабованість – булеве оцінювання (так/ні);
- взаємодія з користувачем – кількісне оцінювання;
- функціональність – кількісне оцінювання;
- придатність до використання – кількісне оцінювання;
- надійність – кількісне оцінювання;
- продуктивність – кількісне оцінювання;
- експлуатаційна придатність – кількісне оцінювання.

Шкала, яка дасть змогу кількісно оцінити та порівняти переваги і недоліки застосування найближчих аналогів (табл. 1):

5 – найкраще підібране програмне забезпечення, операційна система, дуже зручна взаємодія з користувачем, повний функціонал, повноцінна придатність до використання, надійність, продуктивність та експлуатаційна придатність;

4 – добре підібране програмне забезпечення та операційна система, проте тільки для певного кола користувачів, частковий функціонал, повноцінна придатність до використання, надійність, продуктивність та експлуатаційна придатність;

3 – добре підібране програмне забезпечення та операційна система, проте тільки для певного кола користувачів та застосування тільки у схожій сфері (не для лісового господарства, а для сільського господарства), часткова придатність до використання, надійність, продуктивність та експлуатаційна придатність;

2 – добре підібране програмне забезпечення та операційна система, проте тільки для певного кола користувачів та застосування тільки у схожій сфері, погана придатність до використання, надійність, продуктивність та експлуатаційна придатність;

Табл. 1. Порівняльна таблиця характеристик для ПЗ та найближчих аналогів / Comparison table of characteristics for MKR and the closest analogues

| Характеристики | ПЗ | Найближчі аналоги | | |
|-----------------------------|-------|-------------------|----------|---------|
| | | Fandom | Klassify | Dataedo |
| Платформа | 4 | 5 | 4 | 5 |
| Операційна система | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Мова програмування | Краще | Гірше | Краще | Гірше |
| Необхідні ресурси | менше | більше | більше | більше |
| Інтероперабельність | Так | Ні | Ні | Ні |
| Мобільність | Ні | Так | Так | Так |
| Масштабованість | Так | Так | Ні | Так |
| Взаємодія з користувачем | 5 | 4 | 4 | 3 |
| Функціональність | 5 | 4 | 4 | 4 |
| Придатність до використання | 5 | 5 | 4 | 3 |
| Надійність | 5 | 5 | 4 | 4 |
| Продуктивність | 5 | 5 | 4 | 5 |
| Експлуатаційна придатність | 4 | 5 | 5 | 5 |

1 – погано підібране програмне забезпечення та операційна система, застосування тільки для малого кола користувачів, погана придатність до використання, надійність, продуктивність та експлуатаційна придатність.

Аналіз найближчих аналогів та порівняння їх із цільовим продуктом показав [1–3]:

- Деякі програми є досить прогресивними та мають велику кількість функціоналу. Однак, якщо користувачам необхідна швидкість роботи, довге налаштування та розгортання інформації може стати проблемою. Тому рекомендується визначити основні потреби користувача та надавати тільки той функціонал, який їм потрібен. Саме такий підхід має цільова інформаційна система.
- Деякі сервіси, що були проаналізовані, доступні в онлайн режимі з будь-якої точки світу. Однак у військовій сфері це може бути неприйнятним. Тому рішенням даної проблеми є розроблення всіх інформаційних систем у вигляді програмного забезпечення або можливості їх розгортання в локальній мережі. Саме таким чином працює інформаційна система, що нині розробляється. Деякі програми будуть встановлюватись на комп'ютер, а деякі можна відкривати в браузері в локальній мережі.
- Жодна з проаналізованих програм не має можливості працювати з даними, які надходять у реальному часі. В найближчих аналогах програм для аналізу даних потрібно заново вручну або за допомогою засобів імпорту вводити оновлену інформацію. Для швидкого аналізу автоматичне надання даних є дуже важливою перевагою програми. Інформаційна система для візуалізації та класифікації повітряних об'єктів працює у реальному часі. З'єднавши її пристроями стеження повітряних об'єктів аналіз і візуалізація даних буде відбуватись миттєво.
- Перевагою проаналізованих програм може бути їх кросплатформність. Більшість програм комплексної інформаційної системи, що розробляються, будуть розгортатись на певній платформі, однак програми, які потенційно будуть використовуватись широкою аудиторією, будуть кросплатформні. Це дасть змогу користувачам, що знаходяться в ло-

кальній мережі, використовувати інформаційні системи на будь-якому пристрої.

- Програмні засоби, що були проаналізовані, використовують підхід однієї унікальної програми. Тобто, щоб мати деякі переваги, потрібно використовувати відповідні програми паралельно з іншими. Це може стати проблемою коли користувачу потрібно переходити з програми, якою він користувався досить довгий час, на нову програму, яку потрібно ще вивчати. Також буде незручно паралельно використовувати більше однієї програми для досягнення відповідної мети. Одна із програм комплексної системи покликана вирішити дані проблеми. Інформаційна система для інтеграції в інформаційні матеріали визначень потенційно невідомих термінів та аббревіатур буде генерувати вхідний матеріал із додатковими даними. Отже, його можна буде використовувати в старих і зручних програмах, маючи додаткову необхідну інформацію.

Після порівняння цільової інформаційної системи з найближчими аналогами, можна зробити висновок, що вона є актуальною та важливою для командирів тактичних ланок.

Також варто звернути увагу на процес роботи програми. Алгоритм розробленого методу вимагає такі кроки:

Крок 1. Виконується зчитування вхідних даних з елементів форми на сторінці.

Крок 2. Виконується пошук всіх елементів, які представляють певний клас (таким чином можна динамічно додавати нові класи для класифікації).

Крок 3. Зчитуються числові дані кожного класу.

Крок 4. Проводиться валідація числових даних кожного класу.

Крок 5. Виконується пошук відстані між відповідними значеннями (значення з форми має відповідне значення з класу).

Крок 6. Виконується пошук максимально допустимої відстані від цільового значення.

Крок 7. Визначається помилка на підставі відстані та максимальної відстані (чим більша помилка, тим менша ймовірність).

Крок 8. Значення помилки ділиться на кількість класифікаційних ознак (кожна ознака має однакову вагу).

Крок 9. Всі помилки додаються, щоб отримати основну помилку класу.

Крок 10. Визначається значення у відсотках на підставі отриманої помилки класу.

Крок 11. Після того, як значення для кожного класу будуть обчислені, вони виводяться на екран.

Наукова новизна – удосконалено процес класифікації об'єктів у військовій галузі, а саме засобів радіотехнічної розвідки (РТР) шляхом поєднання методів k-найближчих сусідів, наївного байєсівського класифікатора та онтологічного підходу, на відміну від наявних методів, перед застосуванням класифікатора здійснюється кластеризація об'єктів із метою врахування діапазонів, у межах яких визначені ознаки об'єктів.

Практична значущість результатів дослідження – розроблено інформаційну систему класифікації засобів радіотехнічної розвідки (РТР) на підставі методів машинного навчання, а саме методів k-найближчих сусідів та наївного байєсівського класифікатора. Центральним компонентом системи є онтологія засобів РТР. Тестування розробленої системи показали задовільні результати. Розроблена програмна система може бути впроваджена як окремий модуль автоматизованого робочого місця командира тактичної ланки.

Висновки / Conclusions

У роботі було проведено дослідження методів та засобів визначення об'єктів радіотехнічної розвідки противника з використанням технологій машинного навчання та онтологічного підходу. Метою роботи було розроблення ефективних методів та засобів для визначення цих об'єктів із метою підвищення ефективності дій власних збройних сил.

Систематизовано й проаналізовано різні методи й засоби визначення об'єктів радіотехнічної розвідки з використанням технологій машинного навчання та онтологічного підходу. Досліджено використання наївного байєсівського класифікатора для визначення класів об'єктів радіотехнічної розвідки.

Встановлено, що наївний байєсівський класифікатор, заснований на ймовірностях, може успішно використовуватись для класифікації об'єктів радіотехнічної розвідки. Його застосування ґрунтується на історичних даних про властивості об'єктів та дозволяє визначити ймовірності належності об'єкта до конкретного класу.

Розроблено метод та реалізовано програмне забезпечення для виявлення та ідентифікації засобів радіотехнічної розвідки (РТР) противника. Для зберігання класів РТР та їхнього співвідношення розроблено онтологію. Аналіз онтології показав, що основними ознаками для визначення РТР є: “діапазон робочих частот”; “три-

валість імпульсу”; “період повторення імпульсів”; “кількість джерел радіовипромінювань”. Розроблений метод виявлення та ідентифікації засобів РТР ґрунтується на використанні кластеризації об'єктів, наївного байєсівського класифікатора та онтологічного підходу. Результати роботи програми показали задовільний результат.

Проведено імітаційне моделювання роботи розроблених методів та алгоритмів і підтверджено їх задовільний результат. Обґрунтовано вибір програмних засобів для реалізації системи та продемонстровано їхню ефективність у практичних умовах.

Представлено результати експериментів, що показують, що поєднання методів k-найближчих сусідів, наївного байєсівського класифікатора та онтологічного підходу забезпечує високу точність визначення об'єктів радіотехнічної розвідки.

References

- [1] Грищенко, А. М. (2019). Методичні рекомендації роботи штабного офіцера тактичної ланки. Lviv.
- [2] Процес прийняття рішень під час бойових дій. Міжнародний Комітет Червоного Хреста. (2018).
- [3] Катренко, А. В. (2003). Системний аналіз об'єктів та процесів комп'ютеризації. Lviv: Новий світ 2000.
- [4] Buschmann, F., Meunier, R., Rohnert, H., Sommerlad, P., Stal, M. (2002). Pattern-Oriented Software Architecture.
- [5] Bass, L., Clements, P., Kazman, R. (2003). Software Architecture in Practice. Addison-Wesley.
- [6] Jacobsen, I., Christerson, M., Jonsson, P., Overgaard, G. (1992). Object Oriented Software Engineering.
- [7] Evergreen. Для чого потрібні діаграми процесів. (2021). <https://evergreens.com.ua/ua/articles/uml-diagrams.html>.
- [8] Nina.az. Метод k-найближчих сусідів. (2021). https://www.wiki.uk-ua.nina.az/Метод_найближчих_k-сусідів.html
- [9] Nina.az. Наївний баєсів класифікатор. (2021). https://www.wiki.uk-ua.nina.az/Наївний_баєсів_класифікатор.html
- [10] Nina.az. Ієрархічна модель даних. (2021). https://www.wiki.uk-ua.nina.az/Ієрархічна_модель_даних.html
- [11] Visual Studio Code. Why Visual Studio Code? (2021). <https://code.visualstudio.com/docs/editor/whyvscode>
- [12] Simplilearn. Node.js vs. Java: Differences, Applications, and Why You Should Learn Them. (2021). <https://www.simplilearn.com/node-js-vs-java-article/>
- [13] Берко, А. Ю., Верес, О. М. (2003). Організація баз даних. Львів.
- [14] Search Unified Communications. What is a real-time application (RTA)? Definition and Examples. (2022). <https://www.techtarget.com/searchunifiedcommunications/definition/real-time-application-RTA/>
- [15] Smashing magazine. What Is User Experience Design? (2010). <https://www.smashingmagazine.com/2010/10/what-is-user-experience-design-overview-tools-and-resources/>

V. M. Danylyk, V. V. Lytvyn, Z. L. Rybchak

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

METHODS AND MEANS OF DETERMINING OBJECTS OF RADIO INTELLIGENCE USING THE ONTOLOGICAL APPROACH

The article is devoted to the study of methods and means of determining objects of radio technical intelligence using machine learning technologies and an ontological approach. A naive Bayesian classifier was used to identify objects of radio technical intelligence. The Naive Bayes classifier is a machine learning algorithm used to classify objects based on probabilities. In this article, a naive Bayesian classifier is used to determine the classes to which objects of radio technical intelligence belong. The classifier uses historical data on object properties to determine the probability that each object be-

longs to a certain class. For example, based on the properties of the operating frequency range, pulse duration, pulse repetition period, and the number of sources of radio emissions, it is possible to determine the probability that the object belongs to a certain class of radio-technical intelligence. An ontological approach was used to specify the classes to which the objects of radio technical intelligence belong. The ontological approach is used to define classes of objects of radio technical intelligence in order to create a clear and unambiguous model of the subject area. This allows you to structure knowledge about objects, their properties, and relationships, which simplifies further data analysis and allows more accurate classification of new objects. The process of classifying objects in the military field, namely radio-technical intelligence, has been improved by combining the methods of k-nearest neighbors, the naive Bayesian classifier, and the ontological approach, which, unlike the existing methods, before applying the classifier, clustering of objects is carried out in order to take into account the ranges within which features of objects are defined. The analysis of input features showed that the main features for determining the means of radio technical intelligence are: “range of working frequencies”; “impulse duration”; “pulse repetition period”; “the number of sources of radio emissions”. An information system for the classification of radio-technical intelligence tools has been developed, the central component of which is the ontology of radio-technical intelligence tools.

Simulation modeling of the work of the developed methods and algorithms was carried out. The choice of software tools for the implementation of the developed methods with the aim of further implementation on various platforms is substantiated. The JavaScript programming language using the JQuery library was used to implement the functional content of the system. The conducted simulation shows a satisfactory result of the developed methods and algorithms.

Keywords: intelligent system, classification, natural language processing, information structuring, commander of tactical units, military data.

Інформація про авторів:

Данилик Віталій Миколайович, магістр, кафедра інформаційних систем та мереж.

Email: vitalii.danylyk.msaad.2021@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-5928-7235>

Литвин Василь Володимирович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри інформаційних систем та мереж.

Email: vasyi.v.lytvyn@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-9676-0180>

Рибчак Зоряна Любомирівна, канд. техн. наук, асистент, кафедра інформаційних систем та мереж.

Email: zoriana.l.rybchak@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-5986-4618>

Цитування за ДСТУ: Кузьмін О. В., Данилик В. М., Литвин В. В., Рибчак З. Л. Методи та засоби визначення об'єктів радіотехнічної розвідки з використанням технологій машинного навчання та онтологічного підходу. *Український журнал інформаційних технологій*. 2023. Т. 5, № 1. С. 92–98.

Citation APA: Kuzmin, O. V. (2023). Danylyk, V. M., Lytvyn, V. V., Rybchak, Z. L. (2023). Methods and means of determining objects of radio intelligence using the ontological approach. *Ukrainian Journal of Information Technology*, 5(1), 92–98.

<https://doi.org/10.23939/ujit2023.01.092>