

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.396.49

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.5/06>**Адаменко І.О.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Лисенко О.М.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ В БАГАТОКАНАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ДЕТЕКТУВАННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ

У статті розглянуто основні методи дистанційного визначення параметрів об'єктів (геометричних розмірів, швидкості, координат тощо), які використовуються в багатоканальних системах для їх детектування і класифікації. Проведено аналіз супутникового, інерційного, астронавігаційного, оптичного (у видимому, інфрачервоному та ультрафіолетовому діапазонах), лазерного і радіолокаційного методів та встановлено переваги і недоліки кожного із них. З метою підвищення точності дистанційного визначення параметрів запропоновано поєднання у зазначених системах використання декількох методів, реалізованих у вигляді телевізійного, тепловізійного та радіолокаційного каналів та наведено структуру багатоканальної системи, що його реалізує. Таке рішення також знижує можливість одночасного ураження всіх чутливих елементів системи активними системами протидії та підвищує завадостійкість системи. Для розпізнавання об'єкта запропоновано використання кореляційно-екстремальних алгоритмів порівняння зображення, що отримується в інфрачервоному діапазоні з переведеними в цифровий формат знімками заданих об'єктів, які можуть бути отримані в ході попередньої підготовки. Заплановано також реалізацію принципу комбінованого самонаведення залежно від типу об'єкта та умов оточуючого середовища, відповідно до яких автоматично вибирається основний оптимальний метод, що реалізується в одному із 3-х каналів, а інші задіюються паралельно для формування контрастного зображення об'єкта. Основними перевагами запропонованого рішення є підвищена точність, можливість застосування в умовах складних завод і метеорологічних умов, оптимізовані масогабаритні характеристики апаратури, порівняно невисока вартість.

Ключові слова: детектування, дистанційне визначення, розміри об'єкта, положення, швидкість, визначення типу об'єкта, радіолокаційний, тепловізійний, телевізійний канали, оптичний метод.

Постановка проблеми. Завдання дистанційного визначення параметрів об'єктів, зокрема, їх координат, геометричних розмірів, переміщень, швидкості та типу, яке наразі вирішується при детектуванні і класифікації об'єктів багатоканальними системами їх пошуку та виявлення, є важливим для військової і автомобільної галузей, робототехніки, систем безпеки тощо. При цьому актуальним залишається питання їх подальшого удосконалення в напрямку підвищення точності та завадостійкості (можливості застосування в умовах складних завод і метеорологічних умов) при оптимізованих масогабаритних характеристиках і порівняно невисокій вартості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Насамперед, доцільно більш детально зупинитися на розгляді сучасних підходів, які використовуються в існуючих технічних рішеннях для дистанційного визначення параметрів об'єктів, а саме їх розмірів, типу, швидкості, положення тощо.

Серед основних базових методів слід відзначити наступні:

- супутникові;
- інерційні;
- астронавігаційні;
- оптичні (у видимому діапазоні);
- оптичні (у інфрачервоному діапазоні);
- оптичні (в ультрафіолетовому діапазоні);

- лазерні;
- радіолокаційні.

Супутниковий метод використовують для визначення координат об'єктів, отримання значення їх швидкості та напрямку руху. Такі системи складаються з космічного обладнання та наземної системи керування.

Принцип роботи супутникових систем заснований на вимірюванні відстані від антени на об'єкті (координати якого необхідно отримати) до супутників, положення яких відоме з великою точністю. Знаючи відстані до кількох супутників системи, положення об'єкта в просторі можна розрахувати за допомогою звичайних геометричних побудов [1].

Процедура вимірювання відстані від супутника до антени приймача заснована на тому, що швидкість поширення радіохвиль є відомою. Кожен супутник навігаційної системи надсилає сигнал точного часу з годинника, точно синхронізованого із системним часом. При подальшому прийомі сигналів супутниковим приймачем обчислюється затримка між часом випромінювання, що міститься в самому сигналі та часом прийому сигналу. Маючи в своєму розпорядженні цю інформацію, навігаційний приймач розраховує координати антени. Усі інші параметри руху (швидкість, курс, пройдена відстань) обчислюються шляхом вимірювання часу, необхідного об'єкту для переміщення між двома або більшим числом точок з конкретними координатами.

У патентах на винаходи [2–4] описані структури побудови систем, які засновані на використанні супутникового методу. Окрім складної технічної реалізації цього методу, його низької завадостійкості ще одним його недоліком є використання значення швидкості поширення радіохвилі як сталої відомої величини, яка не враховує вплив непрогнозованих факторів таких як характеристики іоносферного шару тощо.

Неавтономні методи вирішення завдання ґрунтуються на використанні зовнішніх орієнтирів або сигналів (наприклад, зірок, маяків, радіосигналів тощо). Ці методи в принципі досить прості, але в ряді випадків не можуть бути реалізовані через відсутність видимості або наявності завад для радіосигналів. Необхідність створення автономних навігаційних систем спричинило створення інерційної навігації.

Інерційний метод забезпечує визначення координат, параметрів руху об'єкта і керування ним та заснований на інерційних властивостях тіл. Він є автономним, тобто не вимагає наявності

зовнішніх орієнтирів або сигналів, що надходять ззовні [5].

Сутність методу полягає у визначенні прискорення об'єкта та його кутових швидкостей за допомогою встановленого на об'єкті вимірювального пристрою. Обробка цих параметрів дає змогу визначити розташування (координати) цього об'єкта, його траєкторію, швидкість, пройдений шлях тощо. Це здійснюється за допомогою датчиків лінійного прискорення (акселерометрів), гіроскопічних пристроїв, що відтворюють на об'єкті систему відліку і дозволяють визначати кути повороту та нахилу об'єкта, а також обчислювальних компонентів, які за прискоренням знаходять швидкість об'єкта та його координати.

Перевага інерційного методу полягає в його автономності, можливості повної автоматизації всіх процесів навігації, високій інформативності та можливості передавання інформації на великій швидкості. Відсутність будь-якого випромінювання під час роботи забезпечує високий захист від завад і можливість бути непоміченими іншими пристроями. Завдяки цьому метод інерційної навігації отримує все більш широке застосування при вирішенні проблем навігації надводних, підводних та повітряних суден, космічних суден, апаратів та інших об'єктів, що рухаються.

Недоліком інерційного методу є наявність помилок та похибок, які накопичуються з часом в інформації, що отримують від датчиків та обчислювальних компонентів. Також неправильне початкове налаштування обладнання дає хибні результати обчислювання, які впливають на загальний результат. Для їх корекції створюються інтегровані системи, які доповнюються даними, що надходять від неавтономних систем, наприклад, супутникової навігації. Ще одним недоліком цього методу є досить висока вартість обладнання, що забезпечує реалізацію методу.

Астронавігаційний метод враховує недоліки розглянутих вище двох методів шляхом комплексування даних, отриманих з використанням супутникового та інерційного методу. До складу системи, що його реалізує, входить додатковий пристрій збору та попередньої обробки астрономічної інформації. Астроінерціальні навігаційні системи застосовуються на бортах літаків стратегічної авіації, космічних літальних апаратах та крилатих ракетах.

Астронавігаційна система використовується у військових цілях: в крилатих ракетах та безпілотних літальних апаратах (БПЛА) у разі радіоелектронної протидії (РЕБ) противника. Як тільки

система навігації крилатої ракети або БПЛА виявляє вплив засобів РЕБ супротивника, блокування або спотворення сигналу GPS, вона запам'ятовує останні координати та перемикається на інерційну систему навігації [6].

Оптичний метод (у видимому діапазоні) можна вважати найпростішим, оскільки визначення параметрів об'єктів відбувається на основі аналізу відеопотоку [7]. Реалізація методу здійснюється оптико-електронною системою шляхом фокусування потоку променистої енергії від об'єкта, його модуляції та перетворення в електричний сигнал. Принцип роботи системи побудовано на порівнянні зображень з еталоном та/або з попереднім зображенням. Розузгодження положень цих зображень дозволяє визначити координати об'єкта. Аналіз отриманого відеопотоку, за необхідністю, дає змогу виконати визначення типу об'єкта та його орієнтовних розмірів.

Недоліками цього методу є необхідність підсвічування об'єкта, високі вимоги до якості повітря навколо нього (наприклад, відсутність задимлення тощо), наявність актуальної бази зображень об'єктів, досить великий обсяг пам'яті та потреба швидкого доступу до неї.

В основу **оптичного методу (в інфрачервоному діапазоні)** покладено принцип уловлювання хвиль інфрачервоного діапазону, що випромінюються досліджуванним об'єктом. Оптичний блок оптико-електронної системи, що реалізує метод, являє собою дзеркально-лінзовий об'єктив, встановлений на роторі гіроскопа і обертається разом з ним, збираючи теплову енергію, що випромінюється об'єктом. Фотоприймач перетворює імпульси теплового випромінювання в електричний сигнал, що несе в собі інформацію про значення і напрям кутової неузгодженості між оптичною віссю об'єктива та лінією візування об'єкта [8].

Зазвичай, такі оптико-електронні системи використовують діапазон хвиль від 1 мкм до 5 мкм, оскільки саме у цьому діапазоні спостерігається максимум теплового випромінювання більшості повітряних об'єктів.

Основна перевага цього методу полягає у можливості застосування пасивного способу наведення на об'єкт, а його суттєвим недоліком є залежність дальності дії оптико-електронної системи від метеорологічних умов.

Оптичний метод (в ультрафіолетовому діапазоні) визначення параметрів об'єктів аналогічний розглянутому вище оптичному методу в інфрачервоному діапазоні, окрім того, що використовуються хвилі значно меншої довжини. Це

дозволяє розпізнавати значну кількість теплових пасток, що наводяться, проте зменшує дальність виявлення/захоплення об'єктів. Недоліком методу також є залежність технічного рішення, що його реалізує, від погодних умов експлуатації.

Сутність **лазерного методу** полягає в тому, щоб за допомогою лазера підсвітити об'єкт, отримати віддзеркалений промінь на приймач та за отриманими даними (а саме часом проходження променя) обрахувати координати об'єкта.

Реалізація цього методу є достатньо нескладною, проте є обмеження по дальності та висоті (через обмеження по потужності випромінювача та конструктивні особливості приймача).

Радіолокаційний метод [9] заснований на ймовірності зустрічі радіохвиль з іншими об'єктами та розсіюванні на них. Відбита від об'єкта хвиля (або власне випромінювання) дозволяє радіолокаційним системам виявляти та ідентифікувати об'єкт, виміряти дальність до нього та його кутові координати (з похибкою). На основі ефекту Доплера радіальна швидкість сигналу випромінювання розраховується на основі частоти прийнятого сигналу відбиття.

Існує два основних режими роботи радіолокаційних станцій та обладнання. Перший – моніторинг середовища. Під час огляду рух променя може бути круговим, конічним або сегментарним. Наприклад, антена решітка може обертатися при скануванні по колу (за азимутом). У режимі стеження антена завжди орієнтована на обраний об'єкт. Для її обертання, виходячи з напрямку рухомого об'єкту, використовуються системи автоматичного супроводу.

Від тактичних і технічних характеристик обладнання багато в чому залежить ефективність і якість розв'язуваних завдань. До таких показників належать:

- Поле зору, мінімальний і максимальний діапазон огляду, азимутальний кут і кут місця.
- Дальність, азимут, висота та швидкість (можливість визначення параметрів найближчих об'єктів).
- Точність вимірювання, що визначається наявністю грубих, систематичних або випадкових похибок.
- Безпека та надійність.
- Ступінь автоматизації прийому та обробки вхідних потоків даних.

Конструктивні особливості задаються при проектуванні технічних рішень системи з використанням декількох основних технічних показників, серед яких:

- несуча частота та модуляція генерованих коливань;
- діаграми спрямованості антен;
- потужність передавальних і приймаючих пристроїв;
- розмір і вага системи.

Радіолокаційні системи набули широкого поширення завдяки своїм винятковим характеристикам функціонування в різних погодних умовах і здатності відстежувати об'єкт будь-якого типу і на різних відстанях. Недоліком методу слід вважати видимість для інших пристроїв і систем роботи технічного рішення, що його реалізує, за рахунок випромінювання радіосигналу.

Постановка завдання. Викладене вище визначає актуальність та диктує необхідність проведення порівняльного аналізу розглянутих методів визначення параметрів об'єктів та вибір базових із них для розроблення структури багатоканальної системи на їх основі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Проаналізувавши розглянуті вище основні базові методи, які використовуються для визначення положення об'єкта, його швидкості, траєкторії та послідууючої його класифікації, можна зробити висновки про наступне.

Супутниковий, інерційний та астронавігаційний методи не підходять для вирішення поставленого завдання, оскільки вони передбачають встановлення початкових точних координат досліджуваного об'єкта для побудови його траєкторії та

визначення швидкості. Також ці методи не забезпечують вирішення подальшого завдання класифікації об'єкта. В свою чергу, оптичні методи (у видимому, інфрачервоному та ультрафіолетовому діапазонах) дозволяють виконати класифікацію об'єкта за допомоги наявної актуальної бази еталонів. Їх використання дозволяє виконувати знаходження та супровід об'єктів без чітких початкових координат (у порівнянні з супутниковим, інерційним та астронавігаційним методами). Однак, оптичні методи мають високу залежність від метеорологічних умов, які будуть впливати на точність отриманого результату під час їх експлуатації.

Тому для забезпечення виконання поставленого завдання та підвищення точності отриманого кінцевого результату запропоновано поєднання декількох методів дистанційного визначення параметрів, а саме оптичних (у видимому та інфрачервоному діапазонах) і радіолокаційного. Кожен із них має свої переваги та недоліки, але їх поєднання та реалізація технічних рішень в одній системі дозволяє підвищити точність та завадостійкість визначення параметрів об'єкта.

Розглянемо структурну схему запропонованого технічного рішення, яке складається з трьох каналів (телевізійного, тепловізійного та радіолокаційного) шляхом поєднання відповідних обраних методів (рис. 1).

Телевізійний канал містить матрицю з чутливих елементів (відеокамеру), що розміщується у фокальній площині оптичної системи. Тепловізійний канал

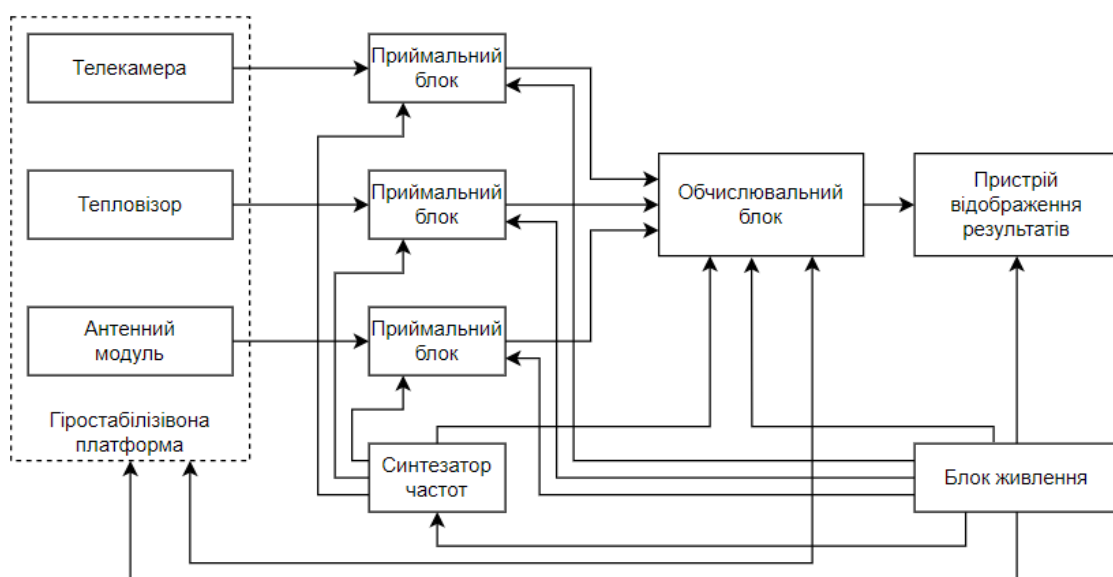


Рис. 1. Структура багатоканальної системи детектування та класифікації об'єктів на основі телевізійного, тепловізійного та радіолокаційного каналів

містить тепловізор, результат зчитування з якого буде посилюватись, модулюватись та передаватись в обчислювальний блок обробки. Радіолокаційний канал містить антенну систему, також підключену через приймальний блок до обчислювального блоку.

Для визначення кутової швидкості використовують датчик з електронною або гіроскопічною стабілізацією, який супроводжує об'єкт.

Конструктивно оптико-електронний блок тепловізійного та тепловізійного приймачів і антена радіолокації виконані в єдиній системі, що забезпечує їх роздільну або спільну роботу в процесі її функціонування.

В обчислювальному блоці реалізуються алгоритмічні та програмні рішення автоматичного розпізнавання об'єкта, у тому числі у складних метеорологічних умовах та вночі, що забезпечується, насамперед, застосованими в системі оптичним (в інфрачервоному діапазоні) та радіолокаційним методами. Зокрема, для розпізнавання об'єкта пропонується застосування кореляційно-екстремальних алгоритмів порівняння зображення, що отримується в інфрачервоному діапазоні з переведеними в цифровий формат знімками заданих об'єктів, які можуть бути отримані в ході попередньої підготовки. Заплановано також реалізацію принципу комбінованого самонаведення залежно від типу об'єкта та умов оточуючого середовища, відповідно до яких автоматично вибирається оптимальний метод, що реалізується в одному із 3-х каналів, а інші задіюються паралельно для формування контрастного зображення об'єкта.

Висновки. У роботі розглянуто основні методи дистанційного визначення параметрів об'єктів (геометричних розмірів, швидкості, координат тощо), які використовуються в багатоканальних системах для їх детектування і класифікації. Проведено аналіз супутникового, інерційного,

астронавігаційного, оптичного (у видимому, інфрачервоному та ультрафіолетовому діапазонах), лазерного і радіолокаційного методів та встановлено переваги і недоліки кожного із них.

З метою підвищення точності дистанційного визначення параметрів запропоновано поєднання у зазначених системах використання декількох методів, реалізованих у вигляді тепловізійного, тепловізійного та радіолокаційного каналів та наведено структуру багатоканальної системи, що його реалізує. Таке рішення також знижує можливість одночасного ураження всіх чутливих елементів системи активними системами протидії та підвищує завадостійкість системи.

Для розпізнавання об'єкта запропоновано використання кореляційно-екстремальних алгоритмів порівняння зображення, що отримується в інфрачервоному діапазоні з переведеними в цифровий формат знімками заданих об'єктів, які можуть бути отримані в ході попередньої підготовки. Заплановано також реалізацію принципу комбінованого самонаведення залежно від типу об'єкта та умов оточуючого середовища, відповідно до яких автоматично вибирається основний оптимальний метод, що реалізується в одному із 3-х каналів, а інші задіюються паралельно для формування контрастного зображення об'єкта.

Основними перевагами запропонованого рішення є підвищення точність визначення параметрів об'єктів, можливість застосування в умовах складних завад і метеорологічних умов, оптимізовані масогабаритні характеристики апаратури та потенційно порівняно невисока вартість.

Напрямок подальших досліджень є розроблення на основі запропонованої структури конструктивних, схемотехнічних, алгоритмічних і програмних рішень реалізації багатоканальної системи визначення параметрів об'єкта.

Список літератури:

1. Барабан М. В., Довгалець К. С., Щирич О. С. Розробка програмного забезпечення для знаходження шляху між двома точками за допомогою Google Maps API. *ISSN 1997-9266. Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2018. № 6. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2018-141-6-90-94>
2. Система високоточного визначення координат на основі супутникових радіонавігаційних систем : пат. 78185 Україна : МПК G01S5/14. № u 2012 10591 ; заявл. 10.09.2012 ; опубл. 11.03.2013.
3. Спосіб визначення координат пунктів спостереженнями сигналів супутникової навігаційної системи : пат. 80415 Україна : МПК G01C21/00. № u 2012 14315 ; заявл. 14.12.2012 ; опубл. 27.05.2013.
4. Супутникова радіонавігаційна система : пат. 90960 Україна : G01S5/14. № а 2008 14890 ; заявл. 24.12.2008 ; опубл. 26.04.2010.
5. Волоконно-оптичні гіроскопи. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітня програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» / О. К. Кучеренко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3.59 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 106 с.

6. Кузовков Н. Т., Саличев О. С. Інерціальна навігація і оптимальна фільтрація. М.: Машинобудування, 1982.
7. Sanada, A., Ishii, K. and Yagi, T., Self-localization of an omnidirectional mobile robot based on an optical flow sensor, *Journal of Bionic Engineering*, 2010. No. 7, pp. 172-176.
8. Інфрачервона головка самонаведення : пат. 151385 Україна : F41G7/22. № у 2022 00363 ; заявл. 31.01.2022 ; опубл. 13.07.2022.
9. Васін В.В. Методи вимірювання координат та радіальної швидкості об'єктів у радіотехнічних вимірювальних системах. Конспект лекцій. – М: МІЕМ 1975р.

Adamenko I.O., Lysenko O.M. METHODS OF DETERMINING OBJECT PARAMETERS IN MULTI-CHANNEL DETECTION AND CLASSIFICATION SYSTEMS

The article discusses the main methods of remote determination of object parameters (geometric dimensions, speed, coordinates, etc.), which are used in multi-channel systems for their detection and classification. An analysis of satellite, inertial, astronavigational, optical (in the visible, infrared and ultraviolet ranges), laser and radar methods was carried out and the advantages and disadvantages of each of them were established. In order to increase the accuracy of remote determination of parameters, a combination of the use of several methods implemented in the form of television, thermal imaging, and radar channels is proposed in the specified systems, and the structure of the multi-channel system that implements it is given. This solution also reduces the possibility of simultaneous damage to all sensitive elements of the system by active countermeasure systems and increases the immunity of the system. For object recognition, it is proposed to use correlation-extremal algorithms for comparing the image obtained in the infrared range with digitalized images of given objects that can be obtained during preliminary preparation. It is also planned to implement the principle of combined homing depending on the type of object and the conditions of the surrounding environment, according to which the main optimal method is automatically selected, which is implemented in one of the 3 channels, and the others are used in parallel to form a contrast image of the object. The main advantages of the proposed solution are increased accuracy, the possibility of application in conditions of complex obstacles and meteorological conditions, optimized weight and size characteristics of the equipment, and relatively low cost.

Key words: detection, remote sensing, object dimensions, position, speed, object type determination, radar, thermal imaging, television channels, optical method.