

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛЕНИХ ІОТ-МЕРЕЖ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Переметчик Д.О., Тютюник О.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Розвиток безпілотних літальних апаратів (дронів) відкриває широкі можливості для їхнього використання, але також створює нові загрози, особливо у сфері їх виявлення [1]. Для ефективного виявлення дронів використовуються розподілені IoT-мережі, що складаються з численних сенсорних пристроїв, здатних збирати та аналізувати дані про повітряний простір. Однак однією з ключових проблем таких систем є необхідність забезпечення високої точності виявлення при мінімальному енергоспоживанні. Постійне функціонування всіх сенсорів у мережі призводить до значних витрат енергії, що зменшує тривалість автономної роботи пристроїв і підвищує вимоги до їхньої підтримки.

Метою доповіді є дослідження методів оптимізації розподілених IoT-мереж для виявлення дронів з урахуванням балансу між енергоефективністю та точністю виявлення. Основними завданнями є аналіз основних проблем, що виникають при розгортанні таких мереж, вивчення підходів до зниження енергоспоживання без втрати якості моніторингу та оцінка ефективності різних методів керування ресурсами IoT-пристроїв.

Оптимізація розподіленої IoT-мережі повинна забезпечувати:

- максимальне покриття повітряного простору;
- мінімізацію енергоспоживання сенсорних вузлів;
- швидке реагування на загрози;
- захист від хибних спрацювань (false positives);
- гнучку маршрутизацію та обробку даних у реальному часі.

Одним із методів оптимізації є використання енергоефективних протоколів зв'язку, таких як LPWAN, LoRa та Zigbee, що дозволяють зменшити витрати енергії на передачу даних. Додатково важливу роль відіграє адаптивне керування активністю сенсорів, при якому вони працюють не в постійному режимі, а активуються лише при виявленні підозрілих об'єктів. Це дозволяє значно скоротити споживання енергії без зниження ефективності роботи системи. Використання периферійних обчислень забезпечує обробку даних безпосередньо на пристроях, що зменшує навантаження на центральні сервери. Гібридні системи моніторингу, які комбінують різні типи сенсорів, підвищують енергоефективність та точність виявлення. Впровадження інтелектуальних алгоритмів, зокрема методів машинного навчання, дозволяє зменшити кількість хибних спрацювань і підвищити загальну ефективність системи.

Енергоефективність мережі IoT можна оцінити через середнє споживання енергії на один сенсор, яке визначається формулою [2]:

$$E_{avg} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i \times T_i,$$

де N – загальна кількість сенсорів у мережі, P_i – потужність споживання i -го сенсора, T_i – час активної роботи i -го сенсора.

Зниження E_{avg} можливе шляхом адаптивного керування активністю сенсорів, коли вони активуються лише при виявленні підозрілих об'єктів.

Точність виявлення дронів залежить від параметрів сенсорної мережі та алгоритмів обробки даних. Одним із критеріїв ефективності є ймовірність правильного виявлення (True Positive Rate, TPR):

$$TPR = \frac{TP}{TP+FN},$$

де: TP – кількість правильно виявлених дронів, FN – кількість пропущених дронів.

Для мінімізації хибних спрацьовувань (False Positive Rate, FPR) використовується співвідношення:

$$FPR = \frac{FP}{FP+TN},$$

де: FP – кількість хибних спрацьовувань, TN – кількість випадків коректного невиявлення об'єкта.

Оптимальне налаштування порогових значень сенсорів та алгоритмів обробки даних дозволяє досягти найкращого співвідношення.

Оптимізація розподілених IoT-мереж для виявлення дронів є багатофакторним завданням, що вимагає збалансованого підходу до енергоспоживання та точності виявлення. Запропоновані методи дозволяють значно покращити ефективність системи, забезпечуючи високу надійність при мінімальному споживанні енергії. Подальші дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення алгоритмів керування мережею та розробку більш адаптивних моделей виявлення.

Оптимізація розподілених IoT-мереж для виявлення БПЛА є стратегічним напрямом, який об'єднує сенсорні технології, телекомунікації та штучний інтелект. Це дозволяє створити ефективну, адаптивну і безпечну систему повітряного моніторингу як для цивільного, так і для оборонного застосування.

Список літератури

1. Drone Development from Concept to Flight: Design, assemble, and discover the applications of unmanned aerial vehicles. Smit Sgarma С. 99–108.
2. Build a Drone: A Step-by-Step Guide to Designing, Constructing, and Flying Your Very Own Drone. Barry Davies 2016 С. 84–93.