



**ГУЛЯНИЦЬКИЙ
Леонід Федорович** —
член-кореспондент НАН
України, завідувач відділу
комбінаторної оптимізації та
інтелектуальних інформаційних
технологій Інституту
кібернетики імені В.М. Глушкова
НАН України

ОПТИМІЗАЦІЯ РІШЕНЬ ПРИ ПЛАНУВАННІ МІСІЙ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Шановні учасники Загальних зборів!

Сьогодні безпілотні літальні апарати (БПЛА) ширше, ніж будь-коли раніше, застосовують як у цивільній, так і у військовій сферах. Так, різні види БПЛА все частіше використовують у логістиці, для контролю технічного стану, безпеки та процесів функціонування різних об'єктів і систем, зокрема у сфері захисту довкілля, аграрному секторі, лісовому господарстві, на залізничному транспорті, при організації морських пошуково-рятувальних операцій, для потреб поліції, у протипожежних роботах, для інспекції стану конструкцій, трубопроводів тощо. БПЛА стали також невід'ємною частиною перспективного озброєння сучасних армій. Військові активно їх застосовують не лише в розвідувальних місіях, при патрулюванні, для коригування вогню, а й для ліквідації ворожих цілей.

Останнім часом одним з основних напрямів розробок у військовій сфері стає використання не окремих БПЛА, а цілих їх груп, перед якими ставиться конкретне завдання. Це зумовлює необхідність забезпечення мережевої взаємодії, яка може передбачати об'єднання в групи не лише БПЛА, а й пілотованих повітряних, надводних чи транспортних засобів, мультиплатформне підключення БПЛА та ефективну взаємодію між усіма компонентами такого командного об'єднання.

В Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України традиційно проводилися і проводяться дослідження, спрямовані на вирішення проблем державного рівня. Далі я коротко зупинюся на важливому нині напрямі — питаннях оптимального планування місій безпілотних авіаційних комплексів (БпАК), до яких входять БПЛА. Формальна постановка таких проблем приводить до задач комбінаторної оптимізації підвищеної розмірності та складності, розв'язування яких здійснюється на сучасних суперкомп'ютерах. Однак у деяких засто-



Рис. 1. При обстеженні заданих цілей БПЛА можуть стартувати з однієї бази, а приземлятися на іншій

суваннях такі задачі потрібно розв'язувати на портативних комп'ютерах, ноутбуках.

Ефективність застосування команд гетерогенних БПЛА та швидкість виконання поставлених перед ними завдань неможливо підвищити без розроблення математичних моделей та алгоритмів, спрямованих на розв'язування задач, що виникають під час планування їхніх місій і стосуються комплектування та розміщення БПЛА, вибору цілей, а головне, узгодженої оптимізації їхніх маршрутів.

Розроблення і застосування математичних та програмно-алгоритмічних засобів з використанням ідей ройового інтелекту здійснювалося нашим колективом для вирішення проблем планування місій команд БПЛА (чи інших рухомих роботизованих систем) при обстеженні або обслуговуванні заданої множини цілей, захисту мереж спеціального призначення. Також розроблялися засоби впізнавання за принципом «свій-чужий», розраховані на сумісну роботу із системами попередніх поколінь, які використовують у ЗСУ.

При плануванні місій команди БПЛА розглядалися такі проблеми:

1) визначення кількості БПЛА, необхідних для виконання завдання, — формування команди БПЛА;

2) розподіл групи БПЛА по можливих місцях базування;

3) розподіл цілей між БПЛА та базами;

4) оптимізація маршрутів групи БПЛА як команди, що виконує поставлене завдання, зокрема із залученням гібридних систем, що складаються з транспортного засобу (ТЗ) та БПЛА;

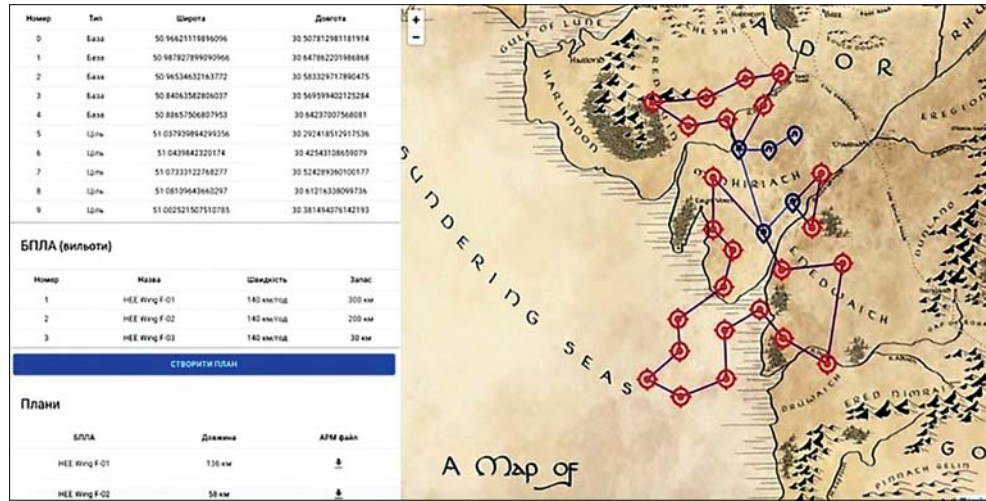
5) підтримка функціонування мобільних спецмереж, що зв'язують БПЛА та наземні пункти керування, захист таких мереж і оптимізація передачі інформації в них.

Поширена практика полягає в тому, що ці проблеми розглядають окремо і для кожної з них розробляють відповідні підходи до вирішення. Засади ройового інтелекту, які покладено в основу розроблених програмно-алгоритмічних засобів оптимізації маршрутів БПЛА для розв'язування задач планування з альтернативними та динамічними базами (депо), дозволили об'єднати більшість зазначених вище проблем в одну задачу. Приклад розв'язування задачі з 3 базами, 12 цілями та 2 БПЛА наведено на рис. 1, де маршрути показано різними кольорами.

Останніми роками бурхливо розвиваються дослідження алгоритмів і засобів планування місій гібридних систем ТЗ+БПЛА. Світові гіганти, серед яких Amazon, Google, DHL, UPS, Deutsche Post AG та Walmart, оголосили про запуск програм з ефективного використання безпілотників для доставки товарів кінцевим споживачам («доставка на останню милю»), вкладаючи у відповідні логістичні проекти величезні кошти. Проте вирішення подібних завдань є важливим і в інших сферах застосування.

Розроблений нами математичний апарат є результатом продовження попередніх досліджень і дозволяє розв'язувати задачі, пов'язані з вибором можливого місця для подальшого переміщення ТЗ з одним БПЛА на борту, що перебуває у зоні зниженої ситуаційної обізнаності та ризику: для оцінки ситуації формується множина пунктів, які БПЛА потрібно обстежити за мінімальний час. Якщо ж місця базування зафіксовано, то завдання полягає у тому, щоб визначити, з якої з можливих баз можна провести обстеження цілей за мінімаль-

Рис. 2. Розв'язок задачі планування місії гібридної системи ТЗ+БПЛА з 24 цілями та 5 базами на маршруті ТЗ



ний час, враховуючи обмежений ресурс БПЛА та час переміщення ТЗ до баз.

У нинішніх умовах виник запит на задачу, коли ТЗ, маючи один БПЛА на борту, може переміщуватися від початкового місця базування (бази) до інших, які задано на його маршруті. Поповнення польотного ресурсу БПЛА відбувається лише у місцях базування транспортного засобу (базах). Задача полягає в такому визначенні фрагментів маршруту БПЛА з окремих баз на маршруті ТЗ та часових інтервалів його обслуговування на цих базах, щоб провести обстеження цілей за мінімальний час. На рис. 2 наведено приклад розв'язування задачі, в якій обстеженню підлягали 24 цілі, а на маршруті ТЗ (позначено синім) було п'ять місць можливого базування (карта умовна). Після оптимізації польотів БПЛА виявилось недоцільним використовувати перші дві бази.

Принциповою проблемою, від вирішення якої також залежить успішність застосування команд чи окремих БПЛА, є розроблення спеціалізованих мобільних мереж, зниження їх радіовидимості, а також захист інформації в них. Розвиток мережевих технологій дозволяє обмінюватися даними між БПЛА з високим ступенем захищеності та низькою затримкою, що дає можливість використовувати маленькі й живучі безпілотники, здатні обмінюватися

зображеннями, спостереженнями і даними цілевказівки один з одним та з пунктами керування у режимі реального часу.

Під захищеністю безпроводових спецмереж, що зв'язують рухомі роботизовані системи, ми розуміємо не лише надійне шифрування потоків інформації всіх типів, а й зниження радіовидимості за рахунок ретрансляцій, що дає змогу зменшити потужності передавачів (БПЛА чи інших дронів, наземного пункту керування), а також скорочення часу виконання завдань завдяки оптимізації маршрутів дронів та передачі потоків даних.

Запропонована схема побудови таких мереж ґрунтується на застосуванні програмно-керованих радіостанцій. Їх використання дозволяє забезпечити керування потужністю, формувати спрямовані сигнали, застосовувати стрибки частот та шумоподібні широкосмугові сигнали за наявності ворожих засобів РЕБ.

Для апробації запропонованих підходів створено кілька макетних стендів. Один із них, призначений для тестування розроблених алгоритмів захисту команд керування та передачі зашифрованого відео, показано на рис. 3. Результати тестування підтвердили застосовність розроблених алгоритмів захищеного керування та ефективність зашифрованої передачі відеосигналу (3280×2464) від дослідного макета на наземний пункт керування.

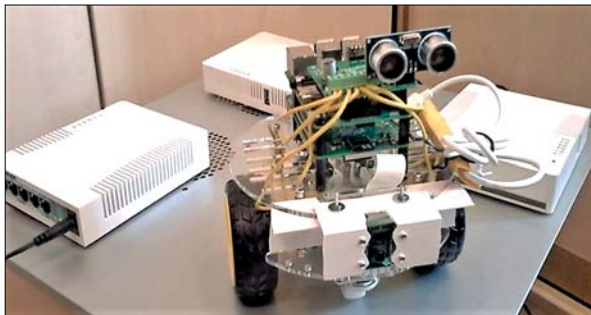


Рис. 3. Макетний стенд для тестування розроблених алгоритмів захисту команд керування та передачі зашифрованого відео



Рис. 4. Тестова платформа для апробації алгоритмів виявлення атак на систему навігації БпАК

Враховуючи підвищену обчислювальну складність проблем проектування мереж різного призначення, розроблено обчислювальні схеми для квантових і класичних комп'ютерів, які дозволяють визначити мінімально необхідну кількість активних передавачів радіомережі для зв'язку між територіально розподіленими абонентами мережі.

Розроблено алгоритм та програмно-алгоритмічне забезпечення для виявлення і фіксування атак на систему навігації БпАК (спуфінгу), що дозволяє інформувати наземний пункт керування про спроби дезорієнтації

чи перехоплення БПЛА. Його впроваджено у навчальний процес для підготовки пілотів БПЛА на базі одного з підприємств ДК «Укроборонпром».

Створено і використано для тестування макетний стенд для імітаційного моделювання польотів групи БПЛА на базі мереж програмно-керованих радіостанцій чи стандартних промислових маршрутизаторів з можливістю керування потужністю передавачів, використання різнотипних джерел радіохвиль для позиціонування в умовах заглушення (рис. 4).

Слід також відзначити розроблення алгоритму впізнавання літальних апаратів, який гарантує вищу криптографічну стійкість захисту інформації порівняно з тими, що використовуються нині ЗСУ. Він має більшу продуктивність обробки цілей завдяки використанню інформації зі спеціальних мереж та застосуванню сигнально-кодових конструкцій відповідно до стандартів НАТО.

Велику увагу приділено використанню результатів досліджень. Окремі розроблені програмно-алгоритмічні засоби передано до ВАТ «Меридіан» ім. С.П. Корольова і використано при модернізації наявних БпАК та розробленні нової лінійки відомих БпАК «Spectator». Методику тестування алгоритмів криптографічного захисту інформації з використанням демонстраційного стенду, який імітує процеси державного впізнавання об'єктів за принципом «свій-чужий», впроваджено в НВЦ «Безпека інформаційних технологій і систем».

Хоча у фокусі наших досліджень були БПЛА, розроблені алгоритмічні та програмні засоби можна розвинути для застосувань, де транспорт — це авто, БТР, танк, корабель чи авіалайнер, замість БпАК (чи разом з ними) використовують інші дрони (наземні, надводні чи підводні рухомі роботизовані системи), а завдання полягає не лише в обстеженні, а й в обслуговуванні об'єктів.

Дякую за увагу!