

## ПІДХОДИ ТА СТРАТЕГІЇ ЩОДО КОЛЕКТИВНОГО КЕРУВАННЯ РОЄМ ДРОНІВ

**Кравчук С.О., Кравчук І.М.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. І. Сікорського, Україна*

*E-mail: sakravchuk@ukr.net*

### **Approaches and strategies for collective management swarm of drones**

The approach to solving the problem of collective management of the drones group is based on the use of an iterative procedure in which the drone sequentially chooses their next steps.

Методологія польоту окремих безпілотних літальних апаратів (БЛА) в цілому вже детально розроблена [1-3]. Однак практика вирішення різних завдань, в тому числі і оборонного значення, вимагає вивчення принципово нового об'єкта керування - сукупності (групи, угруповання, рою) літальних апаратів, які здійснюють спільний рух або по порівняно близьким траєкторіях, або утворюють складну просторово-часову структуру взаємного положення об'єктів. Особливо це актуально на даний час для супроводу і керуванню рою дронів [4].

У завданнях спостереження за такими об'єктами часто також доводиться мати справу з обстановкою, що складається не з одного, а з сукупності об'єктів супроводу. Багато з об'єктів супроводу можуть в процесі свого руху розділятися, утворюючи нові групи або незалежні окремі об'єкти. Актуальність усвідомлення методів побудови таких складних груп і прогнозу їх руху в сучасних умовах не тільки залишається, але навіть зростає.

Одним з важливих чинників досягнення успіху при веденні збройної боротьби в сучасних умовах є комплексне застосування наявних бойових засобів і можливостей. Це дозволяє прийти до висновку, що основною сучасною формою використання бойового потенціалу слід вважати групові дії. Вивчення руху угруповання БЛА і вимога стеження за ними, прогнозування одночасного польоту групи різнотипних БЛА змушують розробляти нові алгоритми і методи, як правило, аналітичні, так як навіть дуже потужні обчислювальні ресурси виявляються нездатними забезпечити вирішення таких багатомірних задач.

Зокрема, в роботі [5, 6] розроблена загальна теорія групового керування роботами в умовах динамічних, недетермінованих середовищ. У ній дана класифікація за рівнем алгоритмічної складності завдань групового керування роботами для різних умов їх застосування. При цьому показано, що для організації систем управління групами роботів доцільно використовувати деякі загальні стратегії, що застосовуються для керування в усіх технічних, соціальних і природних групах. Виділено стратегії централізованого, децентралізованого та комбінованого управління. У найбільш загальному випадку в систему групового керування роботами рекомендовано включати підсистему планування групових дій, локальні бортові системи керування

окремих роботів групи, що відповідають за реалізацію групових дій і бортові виконавчі пристрої окремих роботів.

В основу запропонованого підходу покладені принципи колективного керування і наступні положення:

- кожен член колективу самостійно формує керування і визначає свої дії в поточній ситуації (самоорганізація);
- вибір дій членами колективу здійснюється тільки на основі інформації про мету, що стоїть перед колективом, ситуації в середовищі в поточний момент часу, поточних станах і діях інших членів колективу (кооперативна взаємодія);
- в якості оптимальної дії члена колективу розуміється така дія, яка вносить максимально можливий внесок в досягнення спільної мети (гнучкість і раціональність тільки певних дій);
- допускається прийняття компромісних рішень (ускладнене керування, можливість задіяння штучного інтелекту).

Завдання зводиться до вибору і виконання в поточний момент часу групою дронів таких групових дій, які забезпечують екстремум (максимум, якщо оцінюються вигоди від дій групи дронів, або мінімум, якщо оцінюються витрати) цільового функціоналу з урахуванням вектора протидіючих сил на проміжку дискретного часу. Запропоновано підхід до вирішення дискретної задачі колективного управління групи дронів, заснований на використанні ітераційної процедури, в рамках якої дрони послідовно вибирають свої чергові дії.

З урахуванням сучасних реалій і можливості групового руху важливим є моделювання процесів обміну інформацією між БЛА. Ні моделі, засновані на представленні руху у вигляді диференціальних рівнянь, ні представлені вище нейронні і нечіткі моделі не володіють такими властивостями і не мають таких функцій моделювання. В силу цього для вирішення сучасних завдань теорії польоту необхідно використовувати поняття, які дозволяють перебувати як би «над» традиційними підходами до визначення руху. Як показує дослідження різних методів представлення та опису поведінки активних об'єктів в умовах, що змінюються зовнішніх середовищах (адаптивні, що самоорганізуються, кінцеві автомати та ін.), Доцільно для моделювання таких ситуацій використовувати парадигму агент-орієнтованих систем і поняття «інтелектуальний агент» (ІА) як високорівневу абстракцію для формалізації складних не до певних ситуацій [7-10]. При цьому власне рух літальних апаратів доцільно описувати як переміщення в просторі таких «інтелектуальних агентів».

Інтелектуальні агенти - новий клас деяких програмно-апаратних сутностей, що знаходять і опрацьовують інформацію, що підтримують рішення важких завдань, здатні вести самостійні «переговори» в програмних системах, автоматизувати виконання рутинних операцій і співпрацювати з іншими програмними агентами при виникненні складних проблем, знімаючи тим самим з людини надлишкову інформаційне навантаження (рис. 1). Агентом в загальному випадку є система, яка функціонує всередині деякої середовища, здатна сприймати середу за допомогою датчиків і впливати на неї (в нашому

випадку - рухатися в ній) для виконання власної програми дій. Визначальним в багатоагентних системах є система комунікації. Можливість обміну інформацією розширює компетенції агентів, дозволяючи їм скористатися знаннями інших агентів. Вона також забезпечує умови для ефективного перерозподілу завдань і координації дій.

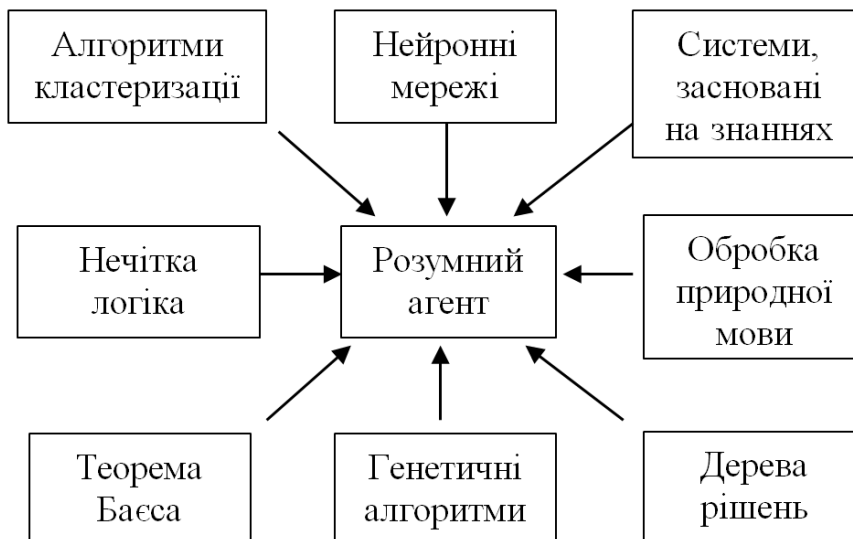


Рис. 1.

На підставі викладеного вище можна скомпілювати наступне визначення: «агент» - це самостійна програмна система, що:

- має можливість приймати вплив із зовнішнього світу;
- визначає свою реакцію на цей вплив і формує відповідь дія;
- змінює свою поведінку з плином часу в залежності від накопиченої інформації і витягнутих з неї знань,
- володіє мотивацією і здатна після делегування повноважень користувачем поставити себе на його місце і прийняти рішення, відповідне ситуації".
- Інтелектуальний агент повинен мати наступні властивості:
  - автономність - здатність функціонувати без втручання з боку свого власника і здійснювати контроль внутрішнього стану і своїх дій;
  - адаптивність - агент має здатність навчатися;
  - колаборативного - агент може взаємодіяти з іншими агентами декількома способами, граючи різні ролі;
  - здатність до міркувань - агенти можуть володіти частковими знаннями або механізмами виведення, а також спеціалізуватися на конкретну предметну область;
  - комунікативність - агенти можуть спілкуватися з іншими агентами;
  - мобільність - здатність передачі коду агента з одного сервера на інший;
  - соціальну поведінку - можливість взаємодії і комунікації з іншими агентами;
  - реактивність - адекватне сприйняття середовища і відповідні реакції на її зміни;
  - активність - здатність генерувати цілі і діяти раціонально для їх досягнення;

- наявність базових знань - знання агента про себе, навколишньому середовищу, включаючи інших агентів, які не змінюються в рамках життєвого циклу агента;

- наявність переконань - змінна частина базових знань, які можуть змінюватися в часі;

- наявність мети - сукупність станів, на досягнення яких спрямоване поточна поведінка агента;

- наявність бажань - стану і / або ситуації, досягнення яких для агента важливо;

- наявність зобов'язань - завдання, які бере на себе агент на прохання і / або дорученням інших агентів;

- наявність намірів - те, що агент повинен робити в силу своїх зобов'язань та / або бажань.

Можна запропонувати наступні побудови різноманітних стратегій керування.

*Централізоване управління з Лідером.* У групі призначається / виділяється / вибирається Лідер. Його поведінка визначається з Центру, який підтримує з Лідером постійний зв'язок. Інші елементи можуть відповідно до «зграєвих» природних алгоритмів слідувати за Лідером з утворенням відповідної структури (ланцюжок, зірка, та ін.), реалізуючи поведінку типу «роби як я», або утворювати ієрархічну структуру, при якій реалізується чітка підпорядкованість. Може реалізовуватися варіант, при якому Лідер визначає ціле-розподіл і видає завдання для БЛА-групи. Така стратегія, за деякими оцінками, виявляється більш стійкою до протидії протилежної сторони конфлікту, при її реалізації знижуються вимоги до інформаційного забезпечення всього угруповання, засобів зв'язку. У загальному випадку роль Лідера може бути присвоєна будь-якому БЛА групи, що володіє необхідними компетенціями. Лідер може бути змінений по команді з Центру керування, що також може підвищити ефективність використання стратегії в різних умовах.

*Децентралізоване управління з Лідером.* У цій стратегії також призначається Лідер, якому ставиться завдання для всього угруповання, але надалі зв'язок Центру з ним відсутній, а рішення щодо поводження і цільових перевірок розподілу всього угруповання Лідер приймає вже самостійно. Така стратегія покладає значну відповідальність на Лідера. По суті, ця стратегія вже стає інтелектуальною, але прийняття рішень в ній як і раніше будується за принципом єдиноначальності – централізоване керування.

*Колективне самоврядування із обміном інформацією.* Така стратегія пов'язана з тим, що об'єкти керування діють самостійно, але обмінюються інформацією один з одним для прийняття рішення і подальшого руху відповідно до прийнятих рішень. Зазначена стратегія відрізняється від раніше розглянутих чітко вираженим колективізмом поведінки. Основною проблемою тут може бути необхідність вирішення конфліктних завдань, які незмінно будуть виникати при такій стратегії керування.

*Децентралізоване керування з розвідкою (або з прогнозуванням).* В рамках децентралізованого керування з Лідером чи колективного самоврядування з

обміном інформацією угруповання може призначити/виділити ІА, який буде попередньо вирішувати завдання в небезпечній для руху всього угруповання зоні, тобто свого роду «розвідника». Розвідник, рухаючись по заздалегідь узгодженим або обраним в залежності від ситуації траєкторіях, може інформувати інші ІА про ступінь небезпеки прохідного шляху. Для вибору оптимальних маршрутів тут можуть бути використані, наприклад, «мурашині» алгоритми.

*Самоорганізація без обміну інформацією.* Цей варіант управління в умовах руху в антагоністичному середовищі при активній протидії може стати єдиною можливим. Але роз'єднаність ніколи не сприяла спільному виконанню спільних завдань, і відсутність обміну інформацією може істотно знизити ефективність. Крім того, цей варіант також вимагає завчасних цільових перевірок розподілу, що знижує гнучкість застосування угруповання.

Різноманітність ІА може внести певні особливості в побудову стратегій, що перш за все пов'язано з різними льотно-технічними характеристиками і можливостями різних ІА, що входять в угруповання. Так, наявність єдиного Лідера може ускладнювати взаємодію в групі; доцільно її розбиття на підгрупи однотипних ІА з відповідним виділенням в них власних Лідерів і делегуванням відповідних завдань для такої однотипної підгрупи. Можна прогнозувати також суттєву різницю просторово-часових характеристик різноманітних об'єктів, що діють у складі угруповання. Дійсно, за умови, що група включає, наприклад, БЛА чотирьох різних типів (літаки, дрони, боєголовки стратегічних і аеробалістичних ракет, аеростати), вони можуть займати істотно різні висотні горизонти і рухатися по різним азимутним напрямкам.

### Література

1. Апазов Р.Ф., Лавров С.С., Мишин В.П. Баллистика управляемых ракет дальнего действия. М.: Наука, 1966. – 308 с.
2. Дмитриевский А.А., Лысенко Л.Н. Внешняя баллистика. М.: Машиностроение, 2005. – 608 с.
3. Алферьев В. Методы имитационного моделирования управляемого движения баллистических объектов. Юбилейный: изд-во ЗАО «ПСТМ», 2012. – 132 с.
4. Ильченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекоммуникаційні системи. – К.: Наукова думка, 2017.
5. Капустян С.Г. Методы и алгоритмы коллективного управления роботами при их групповом применении. Ростов-на-Дону, 2008. – 310 с.
6. Абросимов В.К. Групповое движение интеллектуальных летательных аппаратов вантагонистической среде: монография. – М.: Издат. Дом «Наука», 2013. – 168 с.
7. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. Серия «Науки об искусственном». М.: Едиториал УРСС, 2002. – 352 с.
8. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. СПб.: БВХ-Петербург, 2005. – 400 с.
9. Амелин К.С., Грачинин О.Н. Мультиагентное сетевое управление группой легких БПЛА // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2011. – № 6. – С. 64–72.
10. Котенко И.В., Станкевич Л.А., Командная работа агентов в условиях временных ограничений // Искусственный интеллект. – 2002. – № 4. – С. 560–567.