

О.В. Самойленко, П.А. Глущенко, П.Б. Волотівський

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

ЗАВДАННЯ ТА ОБРИС АЛГОРИТМІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМАХ БОРТОВОГО ОБЛАДНАННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

Проведено аналіз завдань систем штучного інтелекту, які використовуються в перспективних закордонних та вітчизняних безпілотних авіаційних комплексах, проаналізовано перелік бортових систем перспективного безпілотного літального апарату, в яких можливо використовувати алгоритми систем штучного інтелекту. Представлено обрис перспективних алгоритмів штучного інтелекту для впровадження в бортове обладнання безпілотного літального апарату, які дають змогу підвищити ефективність виконання бойових завдань перспективними безпілотними авіаційними комплексами.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, система штучного інтелекту, нейронні мережі, модель штучного нейрона, “ройовий” алгоритм, “мурашиний” алгоритм, бортове обладнання.

Вступ

Постановка проблеми. На сьогодні, в умовах ведення бойових дій, Україна порівняно з Російською Федерацією має менші економічні, військові, людські, інформаційні та інші ресурси. Тому постає питання створення в Україні сучасного асиметричного арсеналу озброєння та військової техніки, побудованих на нових технологіях для відбиття збройної агресії Російської Федерації.

Безпілотним авіаційним комплексам (БпАК) належить все більш зростаюча роль у збройній боротьбі. Відбувається значний розвиток тактики застосування підрозділів, які мають на озброєнні БпАК. БпАК та технології, що в них застосовуються, суттєво впливають на способи ведення операцій (бойових дій).

Досвід відбиття агресії РФ проти України показує, що при збройному конфлікті між технологічно розвиненими противниками широко застосовуються новітні види озброєння, сучасні системи розвідки, передачі даних, управління та ураження. При цьому постійно зростає кількість систем та комплексів озброєння, де застосовуються алгоритми штучного інтелекту.

У зв'язку з цим, значна кількість вітчизняних підприємств розпочали в ініціативному порядку розробляти та пропонувати Збройним Силам для посилення їх бойових спроможностей різноманітні за призначенням безпілотні літальні апарати (БпЛА). Однак, при цьому, більшість вітчизняних підприємств при розробленні зразків БпАК використовують стандартні та вже готові технічні рішення, які не передбачають впровадження “елементів” штучного інтелекту. Такі зразки в складних умовах обстановки, застосування противником засобів РЕБ мають низьку

живучість, що призводить до певного ускладнення або навіть не виконання бойових завдань.

Отже, необхідно сформулювати перелік завдань та систем БпЛА, які спроможні брати на себе функції людини, вибирати й приймати оптимальні рішення для ефективного виконання завдань, що покладені на БпАК.

До таких процесів автоматизації можна віднести задачі, які виконують сучасні БпАК [1, с. 221]:

- визначення координат об'єктів для ураження;
- нанесення повітряних ударів по об'єктах противника із застосуванням ударних БпАК;
- коригування вогню артилерії;
- визначення результатів ракетно-бомбових ударів;

- ведення усіх видів повітряної розвідки (видової, радіотехнічної, радіаційної, хімічної та інших);

- виконання спеціальних завдань (ведення радіоелектронної боротьби (РЕБ), ретрансляція радіозв'язку, транспортування вантажів, аерофотозйомка для створення топографічних карт місцевості, імітація повітряних цілей, забезпечення проведення інформаційно-психологічних операцій, освітлення місцевості тощо).

З огляду на зазначене, дослідження за напрямом можливостей створення сучасних вітчизняних безпілотних авіаційних комплексів з “елементами” штучного інтелекту в інтересах підрозділів Збройних Сил України є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Об'єднаний центр штучного інтелекту, підрозділ Міністерства оборони США, що відповідає за розробку і впровадження військових систем штучного інтелекту, разом з американською компанією General

Atomics створюють систему штучного інтелекту, здатну автоматично обробляти дані з сенсорів безпілотних літальних апаратів, керувати цими сенсорами та польотом. Таку систему планують встановити на оперативний розвідувально-ударний БпЛА MQ-9 Reaper [2]. Система, що розробляється, має керувати усіма сенсорами БпЛА, включаючи апаратуру радіоелектронної розвідки і радіолокаційну станцію Lynx із синтезованою апертурою. Ця система штучного інтелекту, що отримала назву Metis, також повинна буде відповідати за управління польотом БпЛА.

Прес-служба компанії General Atomics оголосила про проведення випробування БпЛА Avenger під управлінням штучного інтелекту [3]. БпЛА зробив автономний політ під управлінням системи CODE (Collaborative Operations in Denied Environment). У рамках автономного польоту програмне забезпечення CODE контролювало маневрування БпЛА Avenger більше двох годин без участі пілота. У польоті також “брало участь” п’ять віртуальних літальних апаратів, які дали змогу повною мірою відпрацювати передачу даних між БпЛА. Ця система є частиною масштабної програми Skyborg Міноборони США зі створення автономних і напівавтономних розвідувальних і бойових літальних апаратів. Skyborg – програма зі створення БпЛА зі штучним інтелектом у США. У межах цієї програми розробляється штучний інтелект для управління бойовими БпЛА. БпЛА матиме повноцінний штучний інтелект, що забезпечить йому можливість у бою вирішувати різні завдання. Штучний інтелект прокладатиме оптимальний курс, забезпечуватиме автономні зліт та посадку БпЛА. Нові БпЛА зі штучним інтелектом за концепцією Skyborg будуть виконувати завдання з розвідки та, за необхідності, завдавати ударів по повітряних чи наземних цілях.

Прототип “мозку” успішно випробували в польоті на тактичному БпЛА Kratos UTAP-22 Мако компанії Kratos. Під час випробувального польоту 29 квітня 2021 року, що тривав 2 години 10 хвилин, система Skyborg продемонструвала декілька “основоположних методів поведінки”, необхідних для характеризувати роботи автономної системи як безпечну [4].

Випробовано у груповому польоті БпЛА X-61A Gremlin зі штучним інтелектом, які самостійно провели розвідку та класифікували виявлені цілі. Отриманими даними БпЛА обмінювалися один із одним, з наземною технікою та з оператором [5].

Один із найцікавіших проєктів – Gremlins від DARPA – створення так званих “роїв” БпЛА, які можуть не лише діяти спільно, а й здатні після виконання бойового завдання повертатися на літако-носій, з якого вони запускалися. Так, наприклад, для

знищення комплексної позиції протиповітряної оборони (ППО) високого рівня (батарея С-300, що захищена ракетними і гарматними комплексами ППО малої та середньої дальності) передбачається використовувати “рій” у 100 безпілотних літальних апаратів [6, с. 50].

Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 червня 2017 року № 398-р було затверджено “Основні напрямки розвитку озброєння та військової техніки на довгостроковий період”. Цим документом було визначено один із пріоритетних напрямів розвитку ОВТ – розвиток роботизованих технологій та систем штучного інтелекту.

В межах реалізації програми розвитку технологій, що можуть використовуватися у сфері оборони, в Україні запущений Defence Tech кластер Brave 1, який об’єднав розробників, інвесторів, волонтерів та військових для розроблення новітніх технологій. За результатами такої роботи Міністерство оборони України допустило до експлуатації у Збройних Силах України БпЛА українського виробництва SAKER SCOUT зі штучним інтелектом, який за допомогою оптико-електронної системи самостійно розпізнає і фіксує координати техніки ворога (навіть замаскованої), при цьому негайно передаючи інформацію на командний пункт для прийняття відповідного рішення. Це нівелює ризики “людської помилки”, оскільки око оператора не завжди здатне вловити усі нюанси [7].

У роботі [8] було описано варіант автопілота квадрокоптера, розробленого на основі “мурашиного” алгоритму із зосередженням на двох основних функціях: уникнення локальних перешкод і розрахунок оптимального маршруту руху. Функція уникнення перешкод, що використовує технологію LiDAR, дозволяє квадрокоптеру безпечно оминати перешкоди. Функція обчислення маршруту, з іншого боку, дає змогу БпЛА визначати найбільш ефективний маршрут через набір заданих точок. Поєднання цих функцій дає змогу створити високоавтономний та ефективний квадрокоптер, здатний оперувати у складних середовищах з мінімальним втручанням людини.

Мета статті – обґрунтування завдань та обрисів алгоритмів системи штучного інтелекту для впровадження в бортове обладнання перспективних БпЛА, а також визначення напрямів подальших досліджень.

Виклад основного матеріалу

Існує декілька досить подібних, але не рівнозначних визначень поняття “штучний інтелект”.

Штучний інтелект (ШІ) – це галузь інформатики, яка займається розробкою інтелектуальних машин, здатних виконувати завдання, які зазвичай потребують людського

інтелекту. Системи штучного інтелекту створені для навчання на досвіді, розпізнавання закономірностей і прийняття рішень на основі вхідних даних [9].

Штучний інтелект – це сукупність автоматичних методів і засобів цілеспрямованої переробки інформації (знань) відповідно до набутого в процесі навчання й адаптації досвіду при розв’язанні всіляких інтелектуальних задач [10, с. 17].

Штучний інтелект – це напрям інформатики, метою якого є розробка апаратно-програмних засобів, що дають змогу користувачеві-непрограмісту ставити і вирішувати свої завдання, що традиційно вважаються інтелектуальними, спілкуючись з електронною обчислювальною машиною [11].

Як бачимо, наведені визначення поняття “штучний інтелект” мають відмінності, але вони є єдиними в плані того, що кінцевим результатом такої діяльності є вирішення інтелектуальних задач і самовдосконалення внаслідок цього. Під системою штучного інтелекту розуміється певна система, що імітує на комп’ютері процес мислення людини. Для створення такої системи є необхідність вивчення самого процесу мислення людини, а також виділення основних стадій цього процесу і, звичайно, розроблення програмних засобів, які відтворюють їх на комп’ютері [7].

До інтелектуальних задач, які можуть вирішуватися алгоритмами штучного інтелекту в перспективних безпілотних авіаційних комплексах, можна віднести розпізнавання образів, аналіз ситуації, планування цілеспрямованих дій, керування та пошук оптимального маршруту.

Функціонування інтелектуальної системи можна описати як постійне прийняття рішень на основі аналізу поточних ситуацій для досягнення певної мети [12, с. 19]. Схема функціонування інтелектуальної системи наведена на рис. 1.

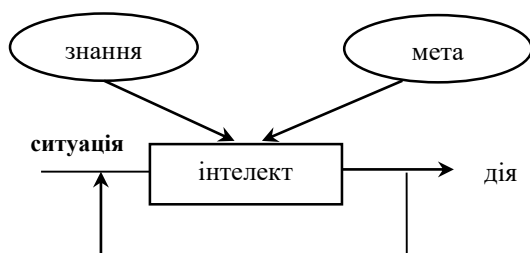


Рис.1. Схема функціонування інтелектуальної системи.

Джерело: [12, с. 14].

Для забезпечення виконання зазначених завдань розглянемо типовий склад бортового обладнання перспективного безпілотного літального апарату [13, с. 85...91]:

бортова апаратура зв’язку зі станцією керування та контролю (СКК) та передавання даних на СКК;

бортова система автоматичного керування польотом;

система наведення засобів ураження;

цифрова система повітряних сигналів;

навігаційна система;

відповідач управління повітряним рухом;

система розпізнавання “свій-чужий”;

датчик магнітного курсу;

змінне цільове споряддя: ТВ камера, цифровий фотоапарат, камера ІЧ діапазону тощо.

Крім цього, для виконання вимог фоноцільової обстановки в інформаційний комплекс БпЛА повинні входити такі датчики:

радіолокаційна станція з режимами синтезованої апертури й селекцією рухомих цілей;

оптико-електронна й тепловізійна станція виявлення та розпізнавання наземних цілей;

станція радіо- і радіотехнічної розвідки для виявлення радіовипромінювальних наземних цілей;

лазерний далекомір-цілевказівник для точного визначення дальності до наземної цілі та її підсвічування [14].

Із зазначеного переліку виділимо основні системи для впровадження алгоритмів штучного інтелекту, які мають високий ступінь готовності як у світі, так і в Україні та можуть бути використані в короткостроковій перспективі в перспективних вітчизняних безпілотних авіаційних комплексах для підвищення ефективності виконання ними завдань:

змінне цільове споряддя (ТВ камера, цифровий фотоапарат, камера ІЧ діапазону) – для виявлення та розпізнавання цілей;

оптико-електронна й тепловізійна системи виявлення й розпізнавання наземних цілей, система наведення засобів ураження;

система автоматичного керування польотом – для забезпечення автоматичного виходу в район виконання бойового завдання та повернення в заданий пункт;

система навігації – для автономного визначення координат польоту БпЛА без приймачів супутникових навігаційних систем.

Розглянемо деякі алгоритми системи штучного інтелекту, які можна впровадити в змінне цільове споряддя, у тому числі в оптико-електронні й тепловізійні станції виявлення й розпізнавання наземних цілей, системи наведення засобів ураження безпілотного авіаційного комплексу, навігаційні системи.

Один із сучасних напрямів створення розумних машин – це розробка нейрокомп’ютерів. Нейрокомп’ютер – це програмно-технічна система (спеціалізована ЕОМ), яка реалізує деяку формальну модель природної мережі нейронів.

Нейронна мережа – це математична модель, яка намагається симулювати роботу нейронної системи мозку. Вона складається зі з'єднаних штучних нейронів, які обробляють та передають інформацію. Основний принцип роботи нейромережі полягає у виконанні двох основних функцій: навчання та передачі сигналів. Структуру штучного нейрона, запропоновану у [12], зображено на рис. 2.

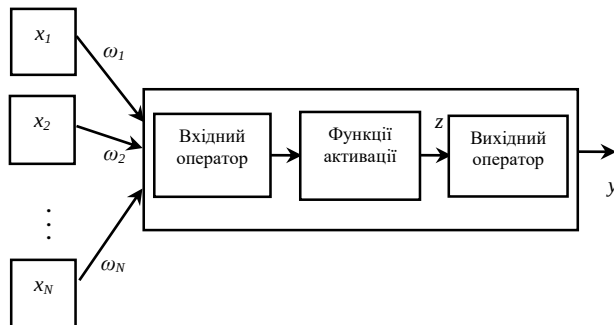


Рис.2. Структура штучного нейрона.
Джерело: [12, с. 63].

Вхідними сигналами штучного нейрона x_i ($i = 1, N$) є вихідні сигнали інших нейронів, кожен з яких узятий зі своєю вагою ω_i ($i = 1, N$).

Вхідний оператор $f_{\text{вх}}$ перетворює зважені входи й подає їх на оператор активації f_a . Вихідний сигнал нейрона u являє собою перетворений вихідним оператором $f_{\text{вих}}$ вихідний сигнал оператора активації. Таким чином, нелінійний оператор перетворення вектора вхідних сигналів x у вихідний сигнал u може бути записаний у такий спосіб:

$$u = f_{\text{вих}}(f_a(f_{\text{вх}}(x, \omega))) . \quad (1)$$

Вихідний сигнал даного нейрона є вхідним для наступного. З'єднані між собою нейрони утворюють штучні нейронні мережі (ШНМ). Таким чином, ШНМ – пара (M, V) , де M – множина нейронів; V – множина зв'язків. Структура мережі задається у вигляді графа, у якому вершини є нейронами, а ребра являють собою зв'язки (з'єднання).

Кожен нейрон мережі має вхідні ланцюги, причому їх кількість є довільною для кожного нейрона. У загальному випадку ШНМ складається з декількох шарів, серед яких обов'язково є вхідний, що отримує зовнішні сигнали, вихідний, що відбиває реакцію нейронів на комбінації вхідних сигналів, у багатошарових ШНМ – приховані шари (рис. 3). Така пошарова організація є аналогом шаруватих структур певних відділів мозку [12].

Зв'язки між нейронами задаються у вигляді векторів і матриць. Ваги зручно подавати елементами матриці $W = [w_{ij}]$ розмірності $N \times M$, де N – кількість входів; M – кількість нейронів. Елемент

w_{ij} відбиває зв'язок між i -м й j -м нейронами. При цьому, якщо

$w_{ij} = 0$ – зв'язок між i -м й j -м нейронами відсутній;

$w_{ij} < 0$ – гальмуючий сигнал зв'язок;

$w_{ij} > 0$, прискорювальний сигнал (збуджувальний) зв'язок.

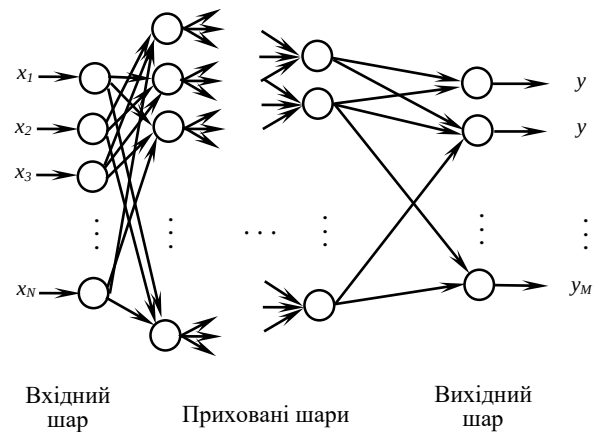


Рис.3. Структура ШНМ.
Джерело: [12, с. 67].

Нейромережа навчається на основі навчальних даних для розв'язання конкретної задачі. При навчанні задаються ваги нейронів, щоб зменшити помилку між прогнозованими та очікуваними результатами. Після навчання нейромережа здатна передавати сигнали від одного штучного нейрона до іншого з урахуванням їх ваги. Цей процес повторюється через всю мережу, сприяючи інформації пройти через різні шари нейронів та робити прогнози або приймати рішення.

Найбільшого поширення на сьогодні отримав підхід, при якому структура мережі задається апріорно, а мережа навчається шляхом настроювання матриці зв'язків (вагових коефіцієнтів) W . Від того, наскільки вдало побудована ця матриця, залежить ефективність даної мережі. У цьому випадку навчання полягає у зміні за певною процедурою елементів матриці W при послідовному поданні мережі деяких векторів, що навчають. У зв'язку з цим штучний нейрон може бути представлений у такий спосіб (рис. 4).

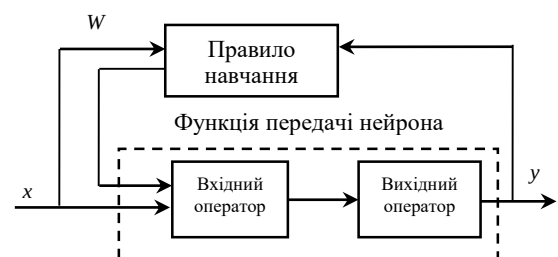


Рис.4. Модель штучного нейрона.
Джерело: розроблено авторами за даними [12, с. 70].

У процесі навчання ваги стають такими, що під час надходження вхідних сигналів мережа виробляє відповідні необхідні вихідні сигнали.

Таким чином, наведені нейронні мережі доцільно використовувати в БпЛА для різноманітних завдань, що включають виявлення об'єктів, розпізнавання образів, навігацію, планування маршруту, уникнення перешкод та інші. Основними умовами, при яких доцільно застосовувати нейронні мережі, є умови невизначеності, при яких відсутні чіткі математичні залежності між вхідним і вихідним параметром.

Одним із найпоширеніших напрямів використання нейронних мереж у БпЛА є система виявлення об'єктів. Завдяки навчанню на великій кількості зображень (вибірці), нейронна мережа може впізнавати різні об'єкти, такі як будівлі, дерева, танки, артилерія тощо.

Для обробки даних (отримуваних від фото або відеокамер, встановлених на безпілотнику) з використанням нейронної мережі, на борту БпЛА має бути встановлений модуль обробки даних з завантаженою нейромережею. Проте цей модуль потребує великого запасу енергії та охолодження. Іншим варіантом реалізації є обробка даних після передачі їх на станцію керування та контролю. У такому випадку можна застосувати готову нейронну мережу, наприклад, з програмного пакету Matlab. Вона заздалегідь навчається для визначення необхідних об'єктів і запускається в роботу на звичайному персональному комп'ютері.

Таким чином, використовуючи на борту БпЛА зазначені вище нейромережі та маючи оптико-електронну систему, можливо визначати місцезоположення об'єктів противника на основі порівняння знімків БпЛА із супутниковою картою Google. Це дасть змогу здійснювати автономний режим польоту з точністю визначення координат до одиниць метрів та значно підвищить ефективність застосування БпЛА в умовах дії засобів радіоелектронної боротьби противника.

Розглянемо деякі алгоритми системи штучного інтелекту, які можливо впровадити в системи автоматичного керування польотом БпЛА, у тому числі для забезпечення їх групового застосування.

На сьогодні все більш актуальними стають "ройові" алгоритми. "Ройові" алгоритми також відомі як "ройовий" інтелект — це обчислювальна парадигма, натхненна колективною поведінкою соціальних комах, таких як мурахи, бджоли та терміти, а також інших груп тварин, таких як пташині зграї та зграї риб [16]. Ці алгоритми спираються на принципи децентралізації та самоорганізації для вирішення проблем оптимізації, кластеризації даних та завдань керування. Основна ідея "ройових"

алгоритмів полягає в тому, що прості агенти, дотримуючись відносно простих правил, можуть працювати разом для виконання складних завдань без централізованого контролю чи чітких вказівок. Колективний інтелект, який виникає в результаті цих взаємодій, дає змогу "рою" адаптуватися до динамічного середовища та знаходити надійні рішення проблем.

Розглянемо деякі популярні "ройові" алгоритми.

"Мурашиний" алгоритм (алгоритм оптимізації "мурашиної" колонії, англ. ant colony optimization, ACO) є одним з ефективних поліноміальних алгоритмів для знаходження наближених рішень задачі комівояжера, проблем маршрутизації транспортного засобу та мережевої маршрутизації, а також аналогічних завдань пошуку маршрутів на графах. Суть підходу полягає в аналізі та використанні моделі поведінки мурах, що шукають дороги від колонії до їжі. В основі алгоритму лежить поведінка мурашиної колонії — маркування вдалих доріг великою кількістю феромону. Робота починається з розміщення мурашок у вершинах графа (так званих містах), потім починається рух мурашок — напрям визначається імовірнісним методом [9].

"Бджолиний" алгоритм (алгоритм оптимізації наслідуванням бджолиної колонії, англ. artificial bee colony optimization, ABC) — алгоритм, подібний до поведінки медоносних бджіл у пошуку їжі. Алгоритм імітує поведінку бджіл-розвідників, які шукають джерела їжі та вербують бджіл, які використовують виявлені джерела. Він застосовувався до різних задач оптимізації та кластеризації даних [9].

Метод "рою" частинок (МРЧ), (англ. Particle Swarm Optimization, PSO) — метод чисельної оптимізації, подібний до поведінки птахів у зграях. Для його використання не потрібне знання точного градієнта оптимізованої функції. МРЧ оптимізує функцію, підтримуючи популяцію можливих розв'язок ("ройових" зв'язків), що звуться частками, та переміщає ці частки в просторі розв'язок згідно з простою формулою. Переміщення підпорядковуються принципу найкращого, знайденого в цьому просторі положення, що постійно змінюється при знаходженні частками вигідніших положень. PSO (МРЧ) використовувався для оптимізації функцій, навчання нейронної мережі та комбінаторної оптимізації, серед інших програм [15].

Алгоритм "зграї риб" (Fish School Search, FSS) — імітація поведінки зграї риб у реальних умовах пошуку їжі. Він моделює поведінку штучних риб, які коригують свої позиції в просторі пошуку на основі відстані до сусідів, щільності сусідів і якості джерел їжі. Алгоритм використовувався для вирішення завдань оптимізації та кластеризації даних [17].

Алгоритм “кажанів” (Bat Algorithm, BA). Імітує процес пошуку їжі кажанами, враховуючи їх здатність до ехолокації [17].

Перевагами “ройових” алгоритмів є:

адаптивність: вони можуть адаптуватися до динамічного середовища та мінливих проблемних умов, що робить їх придатними для застосувань у реальному світі;

масштабованість: ройові алгоритми можуть добре масштабуватися для великих проблем, оскільки вони за своєю суттю є паралельними та можуть ефективно досліджувати простір пошуку;

стійкість: вони стійкі до відмови окремих агентів, оскільки колективна поведінка зграї забезпечує продовження процесу пошуку;

простота: ройові алгоритми зазвичай базуються на простих правилах і локальних взаємодіях, що робить їх відносно легкими для реалізації та розуміння.

Незважаючи на ці переваги, ройові алгоритми також мають деякі обмеження, наприклад, потрапляння в пастку локальних оптимумів, повільні швидкості збіжності. Однак, у ході досліджень ройового інтелекту, що активно продовжуються, покращуються бажані результати, поширюється використання цих алгоритмів у різних областях [18].

Для пошуку оптимального маршруту безпілотних літальних апаратів при виконанні ними завдань повітряної розвідки з подальшим нанесенням повітряних ударів можливо використовувати мурашиний алгоритм, в якому БпЛА у пошуках цілі має обійти всі місця, де може знаходитись ціль, не заходячи повторно в одне й те саме місце. Під час здійснення повітряної розвідки БпЛА повинен використовувати розвідувальну інформацію, яку йому надали попередні БпЛА або інші розвідувальні системи, які вже здійснювали розвідку раніше [19, с. 53...54]. По суті це є задача комівояжера, яка полягає у знаходженні найвигіднішого (в окремому випадку найкоротшого) маршруту, що проходить через вказані точки хоча б по одному разу. Схема можливих маршрутів БпЛА може бути представлена на рис.4.

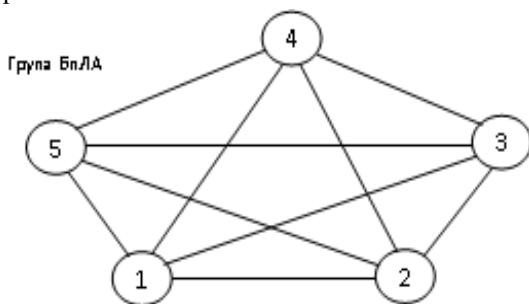


Рис.4. Приклад можливих маршрутів БпЛА.

Джерело: розроблено авторами за даними [19, с. 54].

Ймовірність переходу по i -му маршруту може обчислюватися за формулою [19, с. 54; 20, с. 67]:

$$P_i = \frac{\left(\frac{1}{l_i}\right)^p \cdot f_i^q}{\sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{l_i}\right)^p \cdot f_i^q}, \quad (2)$$

де P_i – ймовірність переходу шляхом i ; l_i – довжина i -го переходу; f_i – кількість розвідувальної інформації, яку надали попередні БпЛА на i -му переході; q – величина, що визначає стабільність алгоритму; p – величина, яка визначає “стадність” алгоритму; $q+p=1$, k – можливий маршрут руху від однієї точки до іншої.

Слід зазначити, що випадки коли $q = 0$ (відповідно $p = 1$) або коли $p = 0$ ($q = 1$) є крайніми випадками, при яких вплив однієї із зазначених складових $(1/l_i)^q \times f_i^p$ анулюється. Якщо $q = 1$, то розвідувальна інформація від інших джерел надається, і, відповідно, БпЛА стабільно прямує маршрутом, а якщо $p = 1$, то розвідувальна інформація від інших БпЛА після кожного прольоту БпЛА не надається і кожний новий БпЛА повинен йти за маршрутом, не орієнтуючись на розвідувальні дані попередніх БпЛА (відсутність колективного впливу стадності). У наведеному прикладі ці два значення q і p ігноруються для спрощення, що ніяк не впливає на сутність самого алгоритму.

Щоб застосувати “ройові” алгоритми для керування БпЛА в польоті, необхідно також програмно вбудовувати неймережу в алгоритми керування БпЛА. При цьому значно зростають вимоги до обчислювальних потужностей контролера. Також зростає складність самих алгоритмів, що потребує збільшення часу і витрат на розробку програми управління БпЛА в складі “рою” і забезпечення його стійкості. При цьому необхідно враховувати проблеми, що можуть виникати під час забезпечення стійкості “рою”, особливо порушеннях зв’язку, навігації, порядку БпЛА та інше [21, с. 2, 32].

Таким чином для реалізації нейронної мережі на борту БПЛА, крім інтегрованих у систему управління апаратних і програмних засобів, необхідно мати велику та точну вибірку прикладів (бази даних), на яких буде навчена нейронна мережа. Це часто являє собою окрему складну задачу.

Висновки

На сьогодні для Збройних Сил України фактором розвитку існуючих безпілотних літальних апаратів має бути не великий типаж безпілотних авіаційних комплексів, які розроблені з використанням стандартних технічних рішень, а їх якість, що базується на технологіях штучного інтелекту таких бортових систем, як ТВ камери,

цифрові фотоапарати, камери ІЧ діапазону, оптико-електронні та тепловізійні станції виявлення й розпізнавання наземних цілей та системи наведення засобів ураження, системи навігації та автоматичного керування безпілотними літальними апаратами. Впровадження перспективних алгоритмів штучного інтелекту в бортове обладнання безпілотного літального апарату дадуть змогу підвищити ефективність виконання бойових завдань безпілотними авіаційними комплексами, що розробляються. Для забезпечення виконання завдань виявлення, наведення, ураження та групового застосування безпілотних літальних апаратів можливо використовувати вже розроблені алгоритми штучного інтелекту з використанням у них нейромереж з урахуванням обчислювальних потужностей бортових контролерів. Запропоновані авторами обриси перспективних алгоритмів штучного інтелекту можуть бути використані під час спільного

вирішення структурними підрозділами Міністерства оборони і Генерального штабу Збройних Сил України, науково-дослідними установами та вітчизняними підприємствами промисловості завдань зі створення перспективних вітчизняних БпАК різних типів та класів в інтересах Збройних Сил України.

Напрями подальших досліджень

Подальші наукові дослідження доцільно проводити за такими напрямками, як розроблення нових та удосконалення існуючих алгоритмів штучного інтелекту для наведення БпЛА на рухомі цілі в повітрі, забезпечення групового польоту БпЛА на гранично малих висотах і стійкості та керованості бойових порядків БпЛА під дією зовнішніх факторів.

Список літератури

1. Самойленко О.В., Богославець С.О., Хлоп'ячий В.А. Основні напрями розвитку безпілотної авіації Збройних Сил України //36. наук. праць. – К.: ДНДІА, 2022, – № 18 (25). – С. 218–226.
2. Американці “навчать” штучний інтелект керувати сенсорами безпілотників. [Електронний ресурс] // 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.unian.ua/weapons/ssha-zbroya-amerikanci-navchat-shtuchniy-intelekt-keruvati-sensorami-bezpilotnikiv-ostanni-novini-11234066.html/>.
3. “МЕСНИК” зі штучним інтелектом. [Електронний ресурс] // 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://militarycabinet.com/mesnik-zi-shtuchnim-intelektom/>.
4. США випробували літальний апарат керований штучним інтелектом. [Електронний ресурс] // 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://mil.in.ua/uk/news/ssha-vyprobuvaly-litalnyj-aparat-kerovanyj-shtuchnym-intelektom/>.
5. X-61A GREMLIN і концепція “повітряного авіаносця”. [Електронний ресурс] // 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://mil.in.ua/uk/news/ssha-vyprobuvaly-litalnyj-aparat-kerovanyj-shtuchnym-intelektom/>.
6. Панченко І.В. Ройовий інтелект //Військовий зв'язок телеком. 2019, Вип. №2. – С. 50–53.
7. Порохова О. Є. Сутність і проблематика штучного інтелекту. [Електронний ресурс] // . – Режим доступу до ресурсу: ЗСУ взяла на озброєння український дрон зі штучним інтелектом [Електронний ресурс] // 2023. – Режим доступу до ресурсу: https://lb.ua/society/2023/09/04/573218_zsu_vzyali_ozbroiennya_ukrainskiy.html.
8. Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра за освітньо-науковою програмою “Системне програмування і спеціалізовані комп'ютерні системи” зі спеціальності 123 “Комп'ютерна інженерія” на тему: “Спосіб організації засобів управління літальним апаратом” // 2023. – Режим доступу до ресурсу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/56684/1/Shtohryn_mahistr.pdf.
9. Штучний інтелект [Електронний ресурс] // 2023. – Режим доступу https://uk.wikipedia.org/wiki/Штучний_інтелект/Загальний_опис.
10. Системи штучного інтелекту в плануванні, моделюванні та управлінні: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / За ред. Л. С. Ямпольського, Б. П. Ткача, О. І. Лісовиченко. К.: ДП “Вид. дім “Персонал”, 2011. 544 с. С. 17).
11. Основні напрямки досліджень в області штучного інтелекту. Предмет дослідження штучного інтелекту [Електронний ресурс] // 2023. – Режим доступу http://ni.biz.ua/3/3_11/3_11494_osnovnie-napravleniya-issledovaniy-v-oblasti-iskusstvennogo-intellekta-predmet-issledovaniya-iskusstvennogo-intellekta.html.
12. Коцовський В. М. Методи та системи штучного інтелекту: конспект лекцій / В. М. Коцовський. – Ужгород, 2016. – 76 с.
13. Самойленко О.В., Волинець В.Л., Ладик М.О. Перспективні напрями побудови бортового електронного обладнання безпілотного літального апарата з мультиплексним інтерфейсом управління та контролем інформаційного обміну //36. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації. 2017, Вип. №13 (20). – С. 85–91.
14. Колективний інтелект // 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.
15. Алгоритми ройового інтелекту та їх застосування [Електронний ресурс] // 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://phm.cuspu.edu.ua/nauka/konferentsii/fizyka-tekhnohii-navchannia/99-2017/komp-iuterni-nauky-ta-informatsiini-tekhnohii/1122-alhorytmy-royovoho-intelektu-ta-yikh-zastosuvannya.html>.

16. ЗСУ взяли на озброєння український дрон зі штучним інтелектом [Електронний ресурс] // 2023. – Режим доступу до ресурсу: https://lb.ua/society/2023/09/04/573218_zsu_vzyali_ozbroiennya_ukrainskiy.html.
17. Метод рою частинок для розв'язання задач нелінійної оптимізації // 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/bitstream/123456789/2529/3/Danishevskyy.pdf>.
18. Алгоритм колективної поведінки [Електронний ресурс] // 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.google.com/search?q>.
19. Троцько В. В. Методи штучного інтелекту. [Електронний ресурс] // 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://library.krok.edu.ua/media/library/category/navchalni-posibniki/trotsko_0001.pdf.
20. Джонс М. Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / М. Тим Джонс; Пер. с англ. Осипов А. И. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 312 с.: ил.
21. Phadke A., Medrano F.A. Towards resilient UAV swarms – a breakdown of resiliency requirements in UAV swarms // Drones. 2022, Vol. 6 (340). – Р. 1–39. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.3390/drones6110340>.

Надійшла до редколегії 28.09.2023

Схвалена до друку 20.10.2023

Відомості про авторів:

Самойленко Олексій Валерійович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного відділу
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3088-3268>

Глущенко Павло Аркадійович

доктор філософії
старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8231-8877>

Волотівський Павло Броніславович

кандидат військових наук
старший науковий співробітник
старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<http://orcid.org/0000-0002-1479-883X>

Information about the authors:

Oleksiy Samoylenko

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
Head of Research Department
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3088-3268>

Pavlo Hlushchenko

Doctor of Philosophy
Senior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8231-8877>

Pavlo Volotivsky

Candidate of Military Sciences
Senior Researcher
Senior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-1479-883X>

IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS IN THE ON-BOARD EQUIPMENT SYSTEMS OF PROSPECTIVE UNMANNED AVIATION COMPLEXES

O. Samoylenko, P. Hlushchenko, P. Volotivsky

An analysis of the tasks of artificial intelligence systems used in promising foreign and domestic unmanned aviation complexes was carried out, a list of on-board systems of a promising unmanned aerial vehicle, in which it is possible to use algorithms of artificial intelligence systems, was analyzed.

The swarm algorithms of the artificial intelligence system, which can be implemented in the automatic flight control systems of an unmanned aerial vehicle, including to ensure their group application, are considered. It is proposed to use an ant algorithm to find the optimal route of unmanned aerial vehicles when they perform aerial reconnaissance tasks with subsequent airstrikes, in which the unmanned aerial vehicle in search of a target must go around all places where the target can be located, without entering the same place again, relying on intelligence provided to it by other intelligence systems that have already performed intelligence before. An outline of a promising artificial intelligence algorithm for introduction into the on-board equipment of an unmanned aerial vehicle is presented, which will increase the effectiveness of combat missions by promising unmanned aircraft complexes.

Keywords: unmanned aerial vehicle, artificial intelligence system, neural networks, artificial neuron model, swarm algorithm, ant algorithm, on-board equipment.