

ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ УГРУПОВАННЯМ МАЛИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ З ПОЗИЦІЙ ТЕОРІЇ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

У статті проаналізовано основні проблеми управління угрупованням малих безпілотних літальних апаратів (МБЛА) з позицій теорії робототехнічних систем. Наведено формалізовану постановку задачі групового управління МБЛА та розглянуто стратегії її розв'язання.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день у провідних країнах світу спостерігається підвищення зацікавленості розвитком МБЛА як військового, так і народногосподарського призначення. Можливість технічної реалізації концепцій МБЛА пов'язується з досягненнями в галузі мікро- і нанотехнологій, що є основою комплексування мікроелектронної та мікромеханічної компонент і дозволяє отримувати унікальні функціональні можливості літальних апаратів (ЛА).

У наш час проводиться ціла низка досліджень щодо розробки та застосування різних типів і класів міні- та мікро-БЛА [1–12], у результаті яких досить добре опрацьовані основні проблеми, з якими доводиться стикатися розробникам при створенні МБЛА, такі як: розпізнавання об'єктів і сцен, формування моделей навколишнього середовища, планування маршрутів руху й послідовностей дій для досягнення мети, управління рухом з урахуванням динаміки МБЛА тощо. У той же час зрозуміло, що одиночні МБЛА через свої обмеження не можуть бути використаними для вирішення великомасштабних завдань, оскільки мають порівняно невеликі можливості.

Найбільш простим розв'язанням вказаних вище проблем є застосування при рішенні складних завдань відразу декількох МБЛА, тобто створення груп (роїв, зграй, строїв) МБЛА. Переваги групового застосування очевидні. По-перше, це більший радіус дії, по-друге, розширений набір виконуваних функцій і, нарешті, вища вірогідність виконання завдання, що досягається за рахунок можливості перерозподілу цілей між МБЛА групи в разі виходу з ладу деяких з них. Тому такі складні завдання, як: масштабне дослідження і зондування поверхні Землі, участь у бойових і забезпечувальних операціях тощо – можуть бути ефективно вирішені МБЛА тільки при їх груповій взаємодії.

Одним із найважливіших завдань забезпечення групового польоту МБЛА є групове управління. При його рішенні виникає ряд істотних технічних проблем, пошук розв'язання яких у даний час проводиться як в Україні, так і за кордоном.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Аналіз літератури показує, що розв'язанню задач групового управління БЛА присвячена досить велика кількість наукових праць [1–10]. Причому можна виділити два основні напрями щодо постановки та рішення проблем групового управління: авіаційний та робототехнічний.

У рамках авіаційного напрямку більше уваги приділяється тактико-технічному обґрунтуванню видів груп [1], аеродинаміці й координації руху ЛА [2–4]. Розробки в галузі автоматичного управління груповими польотами ЛА орієнтовані переважно на управління строєм пілотованих літаків з великими відстанями між ними. Однак уже зараз для МБЛА висувують вимоги до польоту в строю з дистанціями й інтервалом менше 1 м.

У рамках робототехнічного напрямку МБЛА розглядають як літаючі роботи з «шістьма степенями свободи», що здатні доставляти корисне навантаження до віддаленого чи небезпечного об'єкта, де можуть виконуватись різні цільові завдання, такі як: розвідка, спостереження, біохімічний сенсоринг і т. п. [5, 6]. Це більш загальний підхід, при якому аеродинамічні властивості ЛА в основному переводять в розряд обмежень та допущень, а проблеми управління розглядають як проблеми групового управління мобільними (літаючими) роботами.

Формулювання завдання дослідження. Основним завданням даної роботи є аналіз кола проблем саме групового управління МБЛА з позицій теорії групового управління мобільними робототехнічними системами та визначення шляхів їх розв'язання.

Виклад основного матеріалу. Через низку обставин завдання автоматичного й автоматизованого управління польотом навіть великих ЛА в груповому порядку є однією з найбільш складних і специфічних науково-технічних проблем авіації, що вимагає комплексного рішення. Воно полягає в необхідності тактичного обґрунтування раціональних видів строїв, кількості ЛА в групі, у визначенні ідеології збору апаратів у групу, виборі методів синхронного управління кожним об'єктом групи для забезпечення безпеки польоту і точної витримки кожним з них свого місця в строю на прямолінійних і криволінійних ділянках польоту всієї групи в цілому. Крім того, можливість управління строєм ускладнюється нестаціонарністю параметрів польоту. При цьому методи управління окремими апаратами визначають основні принципи, які використовують при проектуванні систем управління ЛА в групі [1].

Класично проблеми управління великими ЛА в строю об'єднують у три великі групи [1]. Перша з них пов'язана з розв'язанням задачі вибору алгоритмів управління й обробки інформації для польоту одиночного апарата в групі. Друга визначається завданням побудови системи управління, яка керуватиме ЛА згідно з вибраним законом та точністю, передбаченими умовами безпеки. І, нарешті, завдання, до якого належить третя група проблем, полягає в розробці технічних засобів, за допомогою яких можна забезпечити політ ЛА в групі.

Ці ж самі проблеми управління можна виділити і для МБЛА, однак вони додатково ускладнюються значними ресурсними і технічними обмеженнями, що впливають із необхідних масогабаритних показників. Так, об'єктивне протиріччя між необхідною масою МБЛА і потрібною дальністю польоту (чи його тривалістю) висувують на перший план проблему розробки джерел енергоживлення з високими енергоємністю і потужністю. Малі масогабаритні показники та необхідні швидкості руху МБЛА порівняно з іншими ЛА (низькі числа Рейнольдса) мають фундаментальне значення і вимагають доопрацювання аеродинаміки МБЛА. Ті ж самі малі масогабаритні показники вимагають високого співвідношення «площі поверхні до об'єму», що пов'язане з необхідністю безпрецедентного рівня комплексування усіх елементів і систем, де традиційна парадигма

проектування літака – «заповнення оболонки» компонентами – вже не діє в повному обсязі [1]. Вказані технологічні проблеми суттєво впливають і на проблеми управління одним МБЛА та МБЛА в групі.

Як правило, для управління МБЛА використовують такі його способи: ручне, автоматичне та напівавтоматичне.

Ручне управління здійснює оператор за допомогою пульта управління (дистанційне пілотування). Цей спосіб застосовують у межах прямої оптичної видимості або за видовою інформацією, що надходить з відеокамери переднього огляду. При такому управлінні оператор вирішує завдання пілотування: підтримання курсу, швидкості, висоти, оптимізація маршруту і т. д.

Автоматичне управління забезпечує можливість повністю автономного польоту МБЛА, який відбувається за заданою траєкторією на встановленій висоті з визначеною швидкістю та стабілізацією кутів орієнтації. Автоматичне управління здійснюється за допомогою бортових цифрових ЕОМ.

При *напівавтоматичному* (дистанційному) управлінні політ здійснюється автоматично без впливу людини-оператора за допомогою автопілота за початково заданими параметрами, але при цьому оператор може вносити зміни до маршруту в інтерактивному режимі. Тобто оператор має можливість впливати на результат функціонування, не відволікаючись на задачі пілотування.

Зрозуміло, що для групового управління МБЛА можливе застосування лише двох останніх способів, а ручне управління може використовуватись лише як додаткова опція для корекції дій одиничних ЛА.

З точки зору групового автоматичного управління велике значення має середовище, у якому діють МБЛА. Для досягнення конкретної мети, що стоїть перед групою, у разі детермінованого середовища кожен МБЛА може виконувати заздалегідь визначену послідовність дій. У разі ж недетермінованого, динамічного середовища ця послідовність повинна бути знайдена системою управління групою МБЛА в процесі досягнення мети. Причому дії кожного апарата групи повинні бути певним чином скоординовані, узгоджені. Отже, виникає проблема управління групою МБЛА. Її рішення полягає або в реалізації системою управління МБЛА заздалегідь знайденої послідовності дій всіх апаратів групи, або у визначенні такої послідовності та її реалізації в процесі досягнення поставленої мети.

Наступна за складністю проблема групового управління МБЛА – це координація їх руху в просторі, наприклад, для попередження зіткнень. У цьому випадку система групового управління повинна забезпечувати їх безпеку, що полягає у виключенні таких ситуацій.

Ще складніша проблема групового управління – це забезпечення спільної дії МБЛА з координацією їх руху одночасно і в просторі, і в часі, тобто координація траєкторій руху МБЛА в реальному масштабі часу [1, 3].

Найбільш складною є проблема групового управління (вона ж є і найактуальнішою з погляду військових), що передбачає управління групою МБЛА в природному неорганізованому середовищі (поверхня Землі, вода, повітря, космос) і, особливо, в умовах організованої протидії з боку певних об'єктів середовища або інших груп МБЛА

(боротьба двох або більше груп, радіоелектронне подавлення тощо). Ця проблема, безумовно, ускладнюється ще й ресурсними обмеженнями МБЛА.

З розвитком адаптивного та інтелектуального управління МБЛА спостерігається тенденція децентралізації за рахунок розподілу між окремими підсистемами МБЛА або окремими МБЛА групи завдань обробки сенсорної інформації, формування моделей середовища, бази знань тощо, тобто тенденція застосування методів розподілених обчислень і розподіленого управління [4–8]. Інтелектуалізація об'єктів управління і самого управління зумовила появу нового типу – колективного управління, де кожен член має можливість самостійно оптимізувати виконання своїх завдань у взаємодії з іншими для досягнення загальної мети. Найбільшого розповсюдження такий підхід набув у робототехнічних системах. Тому процес управління застосуванням МБЛА пропонуємо розглядати з позицій теорії колективного управління групою роботів.

На сьогоднішній день дослідження в сфері колективної поведінки роботів можна поділити на такі напрямки [6]:

пошук чіткого математичного розв'язку. Мова йде про дослідження в галузі теорії систем, створення формальних моделей і механізмів колективної поведінки;

технології багатоагентних систем, які передбачають, що агент – це якась «розумна» сутність, здатна до раціональної поведінки, нею може бути робот, завдяки чому можна досягти погодженої колективної поведінки технічних пристроїв;

імітаційне моделювання, тобто реалізація моделей взаємодіючих суб'єктів (роботів), в основу яких покладені біологічні об'єкти. Сюди ж можна віднести й дослідження в галузі так званого «штучного життя»;

ройові, бджолині й мурашині алгоритми – це методи, що досліджують зовнішні, суто феноменологічні сторони поведінки живих організмів. Подібного роду методи й алгоритми лежать в основі так званого «ройового інтелекту»;

еволюційні методи. Основне їх завдання – реалізація еволюційним шляхом механізмів внутрішньозграйної (внутрішньоройової) взаємодії.

Розглянути особливості та проблеми розвитку кожного з виділених напрямків у межах однієї статті немає можливості, їх проаналізовано в [6]. Обмежимося загальною математичною постановкою завдання в межах першого напрямку. За цієї умови задача групового управління застосуванням МБЛА може бути сформульована таким чином [13, 14].

Нехай угруповання МБЛА \mathcal{R} , що складається з N МБЛА R_j ($j = \overline{1, N}$), функціонує в деякому середовищі E . Стан кожного МБЛА $R_j \in \mathcal{R}$ ($j = \overline{1, N}$) у момент часу t описують векторною функцією $\mathbf{r}_j(t) = [r_{j,1}(t), r_{j,2}(t), \dots, r_{j,h}(t)]^m$. Стан МБЛА характеризують параметрами його руху, поточним значенням показників працездатності та якістю розв'язання задач бортовою цільовою апаратурою. Стан угруповання МБЛА \mathcal{R} задають вектором $\mathbf{R}(t) = [r_1(t), r_2(t), \dots, r_N(t)]^m$. Стан середовища навколо j -го МБЛА – \mathbf{e}_j у момент часу t описують вектором $\mathbf{e}_j = [e_{1,j}(t), e_{2,j}(t), \dots, e_{w,j}(t)]^m$. Тоді стан середовища, у якому функціонують МБЛА угруповання, за умови, що середовище стаціонарне, у момент часу t – $\mathbf{e}(t) = [e_1(t), e_2(t), \dots, e_N(t)]^m$.

МБЛА і середовище, взаємодіючи один з одним, утворюють систему «МБЛА – середовище», стан якої у момент часу t описують парою $s_c = \langle \mathcal{R}, e \rangle$. Множину різних станів системи «МБЛА – середовище» описують точками $N \cdot (h+w)$ -мірного простору станів $\{s_c\}$. Під початковим і кінцевим (цільовим) станами системи «МБЛА – середовище» розуміють стани

$$s_c^0 = \langle \mathcal{R}^0, e^0 \rangle, \quad s_c^f = \langle \mathcal{R}^f, e^f \rangle \quad (1)$$

відповідно.

Стан системи «МБЛА – середовище» $s_c^{\xi} = \langle \mathcal{R}^{\xi}, e^{\xi} \rangle$ у поточний момент часу назовемо поточним.

Кожен МБЛА $R_j \in \mathcal{R}$ ($j = \overline{1, N}$) може виконувати дії, що описують вектором $\mathbf{a}_j(t) = [a_{1,j}(t), a_{2,j}(t), \dots, a_{m,j}(t)]^m$, причому множина дій, які може виконати МБЛА, – $R_j \in \mathcal{R}$, – $\{\mathbf{a}_j\}$. Множина дій, які може виконати група МБЛА, є об'єднанням множин дій окремих апаратів групи: $\{\mathbf{a}_c\} = \{\mathbf{a}_1\} \cup \{\mathbf{a}_2\} \cup \dots \cup \{\mathbf{a}_N\}$.

Дії, виконувані групою МБЛА у момент часу t , можуть бути описані за допомогою вектор-функції $\mathbf{a}_c(t) = [a_1(t), a_2(t), \dots, a_N(t)]^m$. Зміни стану системи «МБЛА – середовище» описують системою диференціальних рівнянь вигляду

$$\dot{s}_c = \mathbf{f}_c(s_c(t), \mathbf{a}_c(t)). \quad (2)$$

При цьому на ситуації, а також на дії МБЛА групи можуть накладатися деякі обмеження:

$$s_c(t) \in \{s_c^p(t)\} \subset \{s_c\}, \quad \mathbf{a}_c(t) \in \{\mathbf{a}_c^p(t)\} \subset \{\mathbf{a}_c\}, \quad (3)$$

де $\{s_c^p(t)\}$ – множина допустимих у момент часу t станів системи «МБЛА – середовище»;

$\{\mathbf{a}_c^p(t)\}$ – множина допустимих у момент часу t дій групи МБЛА.

З урахуванням введених вище позначень завдання групового управління застосуванням МБЛА полягає у визначенні на інтервалі $[t_0, t_f]$ таких оптимальних дій $\bar{\mathbf{a}}_j(t)$ для кожного МБЛА $R_j \in \mathcal{R}$, які переводять систему «МБЛА – середовище» з початкового стану в кінцеве (цільове) і при яких задовольняються система зв'язків (2), обмеження (3), а також забезпечується екстремум функціонала

$$\mathbf{Y}_c = \int_{t_0}^{t_f} \mathbf{F}(s_c(t), \mathbf{a}_c(t), t) dt = \int_{t_0}^{t_f} \mathbf{F}(r_1(t), r_2(t), \dots, r_N(t), e(t), a_1(t), a_2(t), \dots, a_N(t), t) dt, \quad (4)$$

що задає мету застосування групи МБЛА та процесу управління й оцінює їх якість.

Спираючись на сформульовану задачу, можна виділити три класи завдань групового управління МБЛА для різних умов: завдання групового управління застосуванням у стаціонарних організованих середовищах (ідеалізований варіант); завдання групового управління в динамічних, недетермінованих ситуаціях; завдання групового управління в умовах протидії противника. Найбільш складними в алгоритмічному плані є завдання групового управління МБЛА в умовах динамічних, недетермінованих ситуацій, і ця складність зростає за наявності активної організованої протидії.

Для завдань групового управління МБЛА, що функціонують в умовах динамічних, недетермінованих середовищ, недостатньо існування оптимального управління. Необхідно ще, щоб воно було знайдене протягом часу, за який стан $s_c(t)$ системи «МБЛА – середовище» істотним чином не зміниться.

Існує декілька підходів до рішення завдання групового управління МБЛА, які в робототехніці прийнято називати стратегіями. Класично можна виділити такі стратегії побудови систем управління: централізована, децентралізована та змішані (комбіновані) стратегії.

При централізованому управлінні система управління групою МБЛА складається з двох основних частин: центральної (базової) станції управління (ЦСУ) і бортових систем управління (БСУ) кожного МБЛА, які з'єднані між собою за допомогою систем зв'язку (СЗ). ЦСУ вирішує завдання планування дій всієї групи ЛА та завантаження цільового завдання кожному МБЛА. БСУ кожного ЛА вирішує завдання маршрутизації його руху до вказаної мети. СЗ служить для забезпечення зв'язку МБЛА з центральною станцією та з іншими МБЛА групи.

До переваг централізованої стратегії групового управління слід насамперед віднести простоту її організації та, як наслідок, простоту прогнозованості дій у різних ситуаціях. З іншого боку, дана стратегія має і низку істотних недоліків, таких як: низька живучість і велика обчислювальна складність задач, що покладаються на ЦСУ. Низька живучість визначається одним пунктом управління: система втрачає працездатність при виході з ладу ЦСУ. Складне завдання оптимізації дій усіх ЛА групи для досягнення групової мети, що стоїть перед ЦСУ, зумовлює обчислювальну складність, причому вона експоненціально зростає зі збільшенням кількості МБЛА в групі. Наслідком цього є тривалий час ухвалення рішень у подібних системах. Тому при використанні такої стратегії рішення завдання групового управління прагнуть отримати заздалегідь, до початку дій, а потім сплановані заходи реалізуються за принципом програмного управління без урахування непередбачених змін в середовищі.

Частково вказані недоліки усувають при використанні стратегії ієрархічного управління, що є більш досконалою системою централізованого управління, де виділяють ЦСУ та проміжні станції управління (СУ).

Системи децентралізованого групового управління позбавлені недоліків централізованих систем. Суть децентралізованої стратегії полягає в тому, що в системі немає якого-небудь ЦСУ або командира, а кожен МБЛА групи самостійно ухвалює рішення про свої дії, намагаючись при цьому зробити максимально можливий внесок для досягнення загальної, групової мети. Такі системи зараз широко розвиваються в робототехніці.

Прикладом децентралізованої системи управління можуть бути дослідження, що ґрунтуються на застосуванні технологій мультиагентних систем [11, 12].

До переваг децентралізованої стратегії групового управління слід віднести таке.

По-перше, завдання, що вирішується кожним МБЛА групи, буде нескладним, оскільки він оптимізує тільки свої дії у складі групи, не намагаючись це зробити для всієї групи в цілому. Тому рішення приймаються й реалізуються в реальному масштабі часу зміни ситуації в середовищі.

Друга перевага децентралізованої стратегії групового управління – це її висока живучість. Дійсно, оскільки в групі немає ЦСУ або командира, то всі її члени рівні, і тому вихід з ладу або знищення будь-якого з них не призводить до аналогічних наслідків для всієї групи в цілому. При цьому висока живучість групи досягається без яких-небудь додаткових витрат, а тільки за рахунок самої децентралізованої організації групового управління.

До недоліків стратегії децентралізованого групового управління слід віднести складність її алгоритмізації, оскільки кожен член групи повинен чітко розуміти спільне завдання й уміти відповідно вибирати такі свої дії, які сприятимуть якнайкращому його вирішенню з погляду всієї групи. Це, у свою чергу, передбачає високий «інтелектуальний рівень» усіх членів групи, чого, як відомо, досягти непросто.

Другий недолік полягає в тому, що на відміну від стратегії централізованого управління децентралізована стратегія не гарантує оптимального розв'язання групової задачі, оскільки рішення ухвалюється кожним членом групи самостійно.

На думку автора, процес управління груповим польотом МБЛА доцільно подати як ієрархічний процес, який умовно можна розбити на три рівні:

- стратегічний (рівень планування загальної мети);
- тактичний (рівень формування траєкторії польоту);
- виконавчий.

Стратегічний рівень, або рівень ухвалення рішення про вибір поведінки, полягає в оперативному плануванні в реальному часі групових дій МБЛА з організацією їх взаємодії та подоланням виникаючих конфліктів для оптимізації досягнення загальної мети.

Завданням тактичного рівня є оптимізація виконання поточної задачі для кожного з ЛА з урахуванням обмежень і допущень, накладених на стратегічному рівні.

Виконавчий рівень – це рівень системи керування самим МБЛА, що передбачає оптимізацію польоту та поточних завдань.

Оскільки МБЛА мають обмеження за масогабаритними й енергетичними показниками, це обмежує їх обчислювальні ресурси, і тому повне вирішення оптимізаційних задач на борту поки що неможливе. Однак часткове вирішення можливе вже сьогодні.

Висновки

Аналіз сучасного стану проблеми показав, що найбільш доцільно процес групового управління МБЛА розглядати з позицій теорії колективного управління групою роботів.

Найбільш складною проблемою, що потребує свого вирішення, є групове управління МБЛА в природному неорганізованому середовищі, особливо в умовах організованої протидії з боку об'єктів середовища або інших груп МБЛА та ресурсних обмежень.

Серед стратегій групового управління МБЛА найбільш перспективними є ієрархічна та децентралізована стратегії управління.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Радецький В. Г. Безпілотна авіація в сучасній збройній боротьбі : монографія / В. Г. Радецький, І. С. Руснак, Ю. Г. Даник. – К. : НАОУ, 2008. – 224 с.
2. Общие виды и характеристики беспилотных летательных аппаратов : справ. пособ. / А. Г. Гребенников, А. К. Мялица, В. В. Парфенюк и др. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2008. – 377 с.
3. Autonomous Flying Robots. Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles / Kenzo Nonami, Farid Kendoul, Satoshi Suzuki and other. – Springer Tokyo, New York, 2010. – 348 p.
4. International Civil Aviation Organization. CIR 328. Беспилотные авиационные системы (БАС). – ИКАО, 2011. – 326 с.
5. Каляев И. А. Стайные принципы управления в группе объектов / И. А. Каляев, А. Р. Гайдук // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2004. – № 12. – С. 29–33.
6. Карпов В. Э. Коллективное поведение роботов. Желаемое и действительное / В. Э. Карпов // Современная мехатроника : сб. научн. трудов Всерос. науч. школы (г. Орехово-Зуево, 22–23 сентября 2011). – Орехово-Зуево, 2011. – С. 35–51.
7. Юревич Е. И. О проблеме группового управления роботами / Е. И. Юревич // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2004. – № 2. – С. 9–13.
8. Юревич Е. И. Управление роботами и робототехническими системами : учеб. пособ. / Е. И. Юревич. – СПб. : Изд-во СПбГТУ, 2001. – 168 с.
9. Kaliaev I. Multiprocessor distributed control system of intelligent mobile robot / I. Kaliaev, S. Kapustian // 14-th Workshop on Distributed Control Systems. – Seoul, Korea, July 1997. – P. 112–117.
10. Многопроцессорные распределенные системы управления интеллектуальных роботов / И. А. Каляев, С. Г. Капустян, В. В. Клименко и др. // Современные технологии автоматизации. – 1997 – № 4. – С. 94–97.
11. Каляев И. А. Распределенные системы планирования действий коллективов МБЛАов / И. А. Каляев, А. Р. Гайдук, С. Г. Капустян. – М. : Янус-К, 2002. – 292 с.
12. Ali K. S. Multiagent Teleautonomous Behavioral Control / K. S. Ali, R. C. Arkin // Machine Intelligence and Robotic Control. – 2000. – Vol. 1, № 2. – P. 3–10.
13. Dias M. B. Free Market Architecture for Distributed Control of a Multirobot System / M. B. Dias, A. A. Stentz // Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS). – Venice, Italy, July, 2000. – P. 220.
14. Multi-Robot Exploration Controlled By A Market Economy / R. Zlot, A. Stentz, M. B. Dias, S. Thayer // IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – New York, 2002. – P. 98–103.
15. Беспилотные авиационные комплексы: Методика сравнительной оценки боевых возможностей / М. М. Митрахович, В. И. Силков, А. В. Самков и др. ; под ред. В. И. Силкова. – К. : ЦНИИ ВВТ ВС Украины, 2012. – 288 с.

И. В. Пулеко

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППИРОВКОЙ МАЛЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ПОЗИЦИЙ ТЕОРИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье проведен анализ основных проблем управления группировкой малых беспилотных летательных аппаратов с позиций теории робототехнических систем. Приведена формализованная постановка задачи группового управления МБЛА и рассмотрены стратегии ее решения.

I. V. Puleko

PROBLEMS OF GROUP CONTROL BY SMALL UNMANNED AERIAL VEHICLES ON THEORY ROBOTIC SYSTEMS

In article analyzes the main problems of group control by small unmanned aerial vehicles (UAV) on standpoint theory robotic systems. The statement formalized problem group control by UAV and discussed strategies for its decision.