

датчика угла скольжения. Угловая скорость крена близка к эталонной. В качестве δ_n^* и δ_γ^* показаны точные управления рулями, полученные для случая, когда все параметры математической модели самолета известны, вектор состояния измеряется точно, привод идеальный. При управлениях δ_n^* и δ_γ^* движение объекта будет идеально совпадать с эталонным. Как видно, адаптивный закон управления эффективно справляется с возлагаемыми на него функциями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буков В.Н., Круглов С.П., Решетняк Е.П. Адаптируемость линейной динамической системы с идентификатором и эталонной моделью // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 3. – С. 99-107.
2. Круглов С.П. Уточнение условий адаптируемости систем управления с идентификатором и эталонной моделью // Автоматика и телемеханика. – 2002. – № 12. – С. 78-91.
3. Бронников А.М., Круглов С.П. Упрощенные условия адаптируемости системы управления с идентификатором и эталонной моделью // Автоматика и телемеханика. – 1998. – № 7. – С. 107-117.
4. Буков В.Н. Вложение систем. Аналитический подход к анализу и синтезу матричных систем. Калуга: Изд-во науч. лит. Н.Ф. Бочкаревой, 2006. – 800 с.
5. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер. с англ. / Под ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
6. Бронников А.М., Журавлев Д.А., Харьков В.П. Адаптируемость системы управления с идентификатором и эталонной моделью без измерения производной вектора состояния // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2011. – № 1. – С. 10-19.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.Х. Пшихопов.

Бронников Андрей Михайлович

Военный учебно-научный центр ВВС “Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина”.

E-mail: bronnikov_a_m@mail.ru.

125190, г. Москва, ул. Планетная, 3.

Тел.: 84992311068.

Кафедра эксплуатации комплексов авиационного оборудования и систем объективного контроля; начальник кафедры; д.т.н.; доцент.

Bronnikov Andrey Mihaylovitch

Military Uchebno-Centre of Science of the Air Forces “Military-air Academy of Professor N.E. Zhukovsky and J.U.A.Gagarin”.

E-mail: bronnikov_a_m@mail.ru.

3, Planetnay Street, Moscow, 125190, Russia.

Phone: +74992311068.

The Department of Peration of Complexes of the Aviation Equipment and Systems of the Objective Control; Chief the Chair; Dr. of Eng. Sc.; Associate Professor.

УДК 519.687.1

Д.Я. Иванов

МЕТОДЫ РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППАМИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Рассматривается проблема управления группами беспилотных летательных аппаратов. Описаны тенденции развития малоразмерных БПЛА, в частности переход от использования одиночных БПЛА к группам и комплексам БПЛА. В статье приведены основ-

ные проблемы управления группами БПЛА. Предлагается использовать методы роевого интеллекта для решения этой проблемы. Автором предложен обобщенный алгоритм управления для решения нескольких типовых задач. Работоспособность предложенного метода подтверждена компьютерным моделированием.

Роевой интеллект; беспилотный летательный аппарат.

D.Ya. Ivanov

METHODS OF SWARM INTELLIGENCE FOR CONTROL OF GROUPS OF SMALL-SIZED UNMANNED AERIAL VEHICLES

Problem is considered in article about control of groups of small-sized unmanned aerial vehicles. Trends in small-size UAVs described, particularly transition from single UAV to groups and complexes of UAVs. The article describes the basic problems of control of groups of UAV. It is proposed to use methods of swarm intelligence to solve this problem. The author suggests a generalized control algorithm for solving some typical problems. The efficiency of the proposed method is confirmed by computer simulation.

Swarm intelligence; drone; unmanned aerial vehicle.

Введение. История успешного применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) насчитывает уже почти восемь десятилетий. В последнее время интерес к БПЛА намного возрос. По мнению некоторых экспертов, беспилотные летательные аппараты являются наиболее перспективным направлением развития авиации. Это объясняется не только тем, что массовое производство и применение БПЛА оказывается дешевле и проще, чем пилотируемые летательные аппараты, но и тем, что некоторые типы БПЛА способны решать задачи, недоступные пилотируемым летательным аппаратам, к примеру, задачи ближней разведки в условиях плотной городской застройки. Повреждение БПЛА в ходе выполнения боевой задачи несет лишь финансовые потери и не угрожает жизни пилота-оператора, что позволяет использовать БПЛА в рискованных операциях.

Долгое время БПЛА находили только военное применение. Тем не менее, в последние десятилетия растет потребность в БПЛА гражданского назначения: для контроля над нефте- и газопроводами, сбора метеорологических данных, своевременного выявления очагов возгорания лесных массивов. БПЛА найдут применение в поисковых и спасательных операциях. В соответствии с [1], применение БПЛА на гражданском секторе рынка в первую очередь касается контрольных функций БПЛА. Впрочем, расширение рынка БПЛА гражданского применения ни в коем случае не означает уменьшения внимания к беспилотным летательным аппаратам со стороны военных ведомств, судя по тенденции увеличения финансирования проектов по созданию БПЛА в США и других развитых странах, потребности вооруженных сил в БПЛА явно не удовлетворены.

От одиночных БПЛА к группам и комплексам. В зависимости от типа управления беспилотные летательные аппараты подразделяют на неуправляемые (к примеру – метеорологические зонды), дистанционно-пилотируемые и автономные. Долгое время основную часть БПЛА составляли дистанционно-пилотируемые аппараты. Сегодня на смену дистанционно-пилотируемым аппаратам приходят автономные аппараты, способные самостоятельно выполнять поставленную задачу при минимальном вмешательстве человека-оператора.

Несмотря на то, что широко известны модели БПЛА по размерам соизмеримы с пилотируемыми летательными аппаратами, 95 % всех БПЛА составляют именно микро- и миниБПЛА, что свидетельствует о большой востребованности малоразмерных БПЛА.

Одним из основополагающих факторов, выступающих в пользу малогабаритных БПЛА, является цена их производства. Несмотря на то, что производство единичных опытных образцов мини- и микроБПЛА нельзя считать дешевым, тем не менее, расчеты стоимости серийных образцов в случае их массового производства обнадеживают. Для сравнения, стоимость одного полноразмерного аппарата составляет около 10 млн долларов США, в то время как стоимость миниБПЛА лежит в пределах 20–30 тысяч долларов, а расчетная стоимость микроБПЛА при их массовом производстве оценивается в 10 долларов за единицу [2].

Массовое производство малоразмерных БПЛА приведет не только к удешевлению единичного образца, но и к возможности их группового применения. В [2] предложено выделять несколько этапов создания и применения БПЛА. Создание и разработка отдельных БПЛА представляется лишь первым этапом. На втором этапе создаются комплексы из нескольких независимых БПЛА. Третий этап подразумевает создание комплексов, взаимодействующих друг с другом БПЛА, а четвертый этап – создание комплексов из БПЛА, способных встраиваться в любые сложные функционирующие системы, такие как сетевые системы управления, что позволяет говорить о «БПЛА-технологиях».

Использование групп и комплексов малоразмерных БПЛА позволит существенно расширить область их применений. Ряд проблем, стоящих сейчас на пути применения малоразмерных БПЛА, отпадает при групповом применении. Особенности и преимущества применения групп БПЛА подробно описаны в [3].

Роевое взаимодействие – как одно из решений проблем малоразмерных БПЛА. Одной из серьезных проблем, стоящих на пути использования малоразмерных БПЛА, являются сложности в обеспечении радиосвязи с операторским пультом управления. Дело в том, что малые размеры накладывают существенные ограничения на запас бортового энергоресурса, большая часть которого предназначена для обеспечения движения, и лишь небольшая часть энергоресурса может использоваться приемопередающей аппаратурой. Таким образом, мощность радиопередатчиков сильно ограничена. Небольшие размеры БПЛА также ограничивают размеры антенн.

Одним из решений этой проблемы является использование нацеленных наземных антенн для сопровождения аппарата по линии визирования [4], очевидно, что такой подход существенно ограничивает область применения малоразмерных БПЛА.

Использование групп БПЛА делает вопрос обеспечения связи еще более актуальным. При централизованных стратегиях управления каждому БПЛА требуется канал связи с пропускной способностью в несколько Мбит/с для передачи изображений и другой информации об окружающей среде. Частичным решением проблемы может послужить использование централизованных иерархических стратегий управления, при которых связь с центральным устройством управления есть лишь у некоторых БПЛА, каждый из которых передает команды аппаратам своей подгруппы, причем дистанции между аппаратами подгруппы относительно невелики, а, следовательно, и энергозатраты на такую передачу не столь существенны. Тем не менее, необходимость постоянной связи БПЛА верхнего уровня иерархии с центральным устройством управления остается проблемой.

В качестве решения проблемы информационного обмена в группах БПЛА предлагается использовать методы роевого интеллекта.

Роевой интеллект – это дисциплина, которая изучает природные и искусственные системы, состоящие из большого количества отдельных объектов (особей, агентов, и т.п.), которые осуществляют децентрализованное управление на основе принципов самоорганизации. В частности, эта дисциплина сосредоточена на кол-

лективном поведении в результате локальных взаимодействий отдельных объектов между собой и с окружающей средой [5]. Роевой интеллект описывает коллективное поведение децентрализованной самоорганизующейся системы, природного или искусственного происхождения.

В группе БПЛА, взаимодействующей на основе роевого интеллекта, каждый аппарат осуществляет взаимодействие лишь с некоторыми, ближайшими к нему в данный момент, аппаратами. При этом дальность связи и энергозатраты на информационную передачу относительно невелики. БПЛА принимают решение о текущем поведении, опираясь на самостоятельно собранные данные об окружающей среде, а также на те данные, которые передают соседние аппараты. Энергозатратная связь с центральным устройством управления осуществляется лишь изредка, и, возможно, не всеми аппаратами группы, лишь для того, чтобы получить информацию о задачах, стоящих перед группой, и для того чтобы передать отчетную информацию о состоянии группы и ходе выполнения поставленной ранее задачи.

Методы роевого взаимодействия находят применение в задачах управления большими группами наземных мобильных микророботов (например, проекты Swarm-bots и Swarmonoid), что может служить подтверждением тому, что применение этих методов для групп БПЛА может оказаться столь же эффективным. Ведь БПЛА можно рассматривать как «воздушные роботы с шестью степенями свободы» [4]. Это позволяет предположить что, методы, апробированные на группах микророботов, после небольшой адаптации смогут найти приложение в задачах управления БПЛА.

Использование роевых методов взаимодействия в группах БПЛА помогает решить еще одну проблему малоразмерных БПЛА – сбор данных об окружающей среде. Дело в том, что малые габариты аппарата существенно ограничивают доступный набор бортовых сенсорных устройств. Ограниченный энергоресурс также неблагоприятно сказывается на допустимые энергозатраты средств сбора данных об окружающей среде, что приводит к уменьшению радиуса работы активных средств сбора данных, таких как лазерные дальномеры, ультразвуковые датчики и т.п. Эти ограничения приводят к тому, что малоразмерный БПЛА способен самостоятельно собрать информацию лишь об относительно небольшой области пространства вокруг себя. Тем не менее, для обеспечения устойчивого полета аппарата необходимы данные неподвижных и движущихся препятствий, расположенных в значительно большей зоне, особенно по курсу движения. При роевом взаимодействии в группе БПЛА соседние аппараты обмениваются информацией об окружающей среде, расширяя доступные друг другу сведения о препятствиях, воздушных потоках, и других важных параметрах среды.

Особого внимания заслуживает вопрос обеспечения устойчивого полета малоразмерных БПЛА, которые в большей степени подвержены неустойчивым потокам естественной турбулентности атмосферы, особенно в условиях плотной городской застройки. В качестве одного из способов решения этой проблемы предполагается переход от самолетного крыла или вертолетного винта к использованию машущих крыльев, наподобие насекомых. Но даже в случае успешного применения такого малоизученного способа полета, по-прежнему актуальным останется поиск и своевременное обнаружение препятствий, в качестве которых могут выступать здания, деревья, линии электропередач, слишком мощные воздушные потоки и даже зоны действия ПВО противника.

Совместное выполнение группой БПЛА общей задачи требует соблюдения определенных дистанций между летательными аппаратами и упорядочивания их построения. К примеру, при выполнении задач сбора информации о некоторой территории, БПЛА должны летать на таких дистанциях, чтобы минимизировать

перекрытие рабочих зон сенсорных устройств, и в то же время, не допускать «пробелов на карте». При роевом взаимодействии, каждый аппарат определяет дистанции до соседних к нему аппаратов и корректирует свой курс таким образом, чтобы соблюдать требуемые дистанции между аппаратами, и в то же время не сближаться чрезмерно с препятствиями.

Предлагаемый метод управления группой БПЛА на основе роевого интеллекта. Предлагается для управления группой малоразмерных БПЛА использовать роевой подход, пригодный для всех микророботов. Достаточно многочисленное множество R микророботов $r_i (i = 1, 2, \dots, N)$, совместное взаимодействие которых обеспечивает решение некоторого ограниченного множества задач $P = \langle p_1, p_2, \dots, p_c \rangle$ будем называть роем. При этом предполагается:

1. Все микророботы $r_i (i = 1, 2, \dots, N)$ одинаковы.
2. Состояние каждого микроробота $r_i \in R$ описывается некоторым вектором $s_i = \langle s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{ij} \rangle$.
3. Микроробот $r_i \in R$ может выполнять некоторый ограниченный набор простейших локальных действий, определяемых вектором $A_i = \langle a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ig} \rangle$.
4. Микроробот r_i может осуществлять информационный обмен с некоторым подмножеством микророботов $R_i \in R$, находящихся в пределах некоторой зоны, ограниченной радиусом L , которую в дальнейшем будем называть «зоной видимости» микроробота r_i . С помощью этого информационного обмена микророботу $r_i \in R$ может быть доступна информация о текущем состоянии и действиях микророботов подмножества R_i .
5. Микроробот $r_i \in R$ «знает» законы изменения своего состояния в зависимости от своих действий, а также действий и состояний других микророботов из подмножества $R_i \subseteq R$, т.е. $\frac{ds_i}{dt} = f(s_i, A_i, s_{i1}, A_{i1}, \dots, s_{ij}, A_{ij})$, где $s_{ij}, A_{ij} (j = 1, 2, \dots, L)$ – текущее состояние и действие микроробота $r_{ij} \in R_i$, попадающего в зону видимости микроробота r_i ;
6. Под задачей $p_b \in P$, стоящей перед роем, будем понимать достижение роем такого состояния: $s_k^b = \langle s_{1k}^b, s_{2k}^b, \dots, s_{Nk}^b \rangle$, где N – число микророботов в рое, $s_{ik}^b (i = 1, 2, \dots, N)$ – целевое состояние микроробота r_i , необходимое для решения задачи p_b , при котором достигается минимум некоторого функционала $Y = F_b(s_1, s_2, \dots, s_N)$.

С учетом введенных определений задачу управления роем микророботов можно сформулировать следующим образом:

Найти такую последовательность локальных действий всех микророботов роя $A = \langle A_1, A_2, \dots, A_N \rangle$, которая преобразует текущее состояние роя $S_0 = \langle S_{10}, S_{20}, \dots, S_{N0} \rangle$ в такое целевое состояние, соответствующее поставленной перед роем задаче $p_b \in P$, $s_k^b = \langle s_{1k}^b, s_{2k}^b, \dots, s_{Nk}^b \rangle$, в котором достигается минимум

функционала $Y = F_b(s_1, s_2, \dots, s_N)$ при связях $\frac{ds_i}{dt} = f(s_i, A_i, s_{i1}, A_{i1}, \dots, s_{ij}, A_{ij})$, где $s_{ij}, A_{ij} (j = 1, 2, \dots, L)$ – состояния и действия микророботов подмножества $R_i \subseteq R$, попадающих в зону видимости микроробота r_i .

Предлагается использовать следующий обобщенный алгоритм роевого взаимодействия:

1. Все микророботы, входящие в состав роя, получают из некоторого пункта управления тип (номер) k задачи, стоящей перед роем.
2. Каждый микроробот R_i , входящий в состав роя, определяет (или получает по каналам связи) информацию о текущем состоянии и локальных действиях микророботов роя, попадающих в зону видимости.
3. На основании полученных данных микроробот R_i определяет состояние S_i^{\min} , в котором функция Y_k^i принимает минимальное значение.
4. Микроробот R_i определяет действие a_i , направленное на преобразование его текущего состояния S_i в состояние S_i^{\min} .
5. Микроробот R_i реализует локальное действие a_i , после чего переходит к пункту № 2.

Примеры решения задач. Рассмотрим более подробно задачу распределения роя роботов на равные дистанции друг между другом. Такая задача может ставиться при необходимости компактного расположения роя роботов без взаимных помех, либо при выполнении задач сбора данных на большой территории без «брешей» и с минимальным перекрытием, обработки поверхностей и т.п. Пусть m – минимальная допустимая дистанция между роботами, d – текущая дистанция между роботами R_i и R_j , L – радиус видимости каждого робота R_i . Тогда при выполнении условия $m < d < L$, вектор результирующей силы $\vec{F}_{ij}(k)$, определяющий требуемое действие a_i , будет направлен на робота R_j и прямо пропорционален дистанции между ними d :

$$\begin{cases} |\vec{F}_{ij}(k)| \sim d, m < d < L; \\ |\vec{F}_{ij}(k)| \sim d^{-1}, d < m < L. \end{cases} \quad (1)$$

На рис. 1 наглядно показаны вектора силы $\vec{F}_{ij}(k)$ в зависимости от текущей дистанции между микророботами.

Под задачей барражирования роя микророботов R будем понимать такое пространственное перемещение группы, при котором рой перемещается в определенном направлении и дистанции между микророботами соблюдаются. Такая задача может ставиться при необходимости перемещения роя к месту выполнения работ, при сборе информации об окружающей среде, при выполнении задач по радиоэлектронному противодействию (микророботы, оснащенные уголковыми отражателями могут создавать засветку на радиолокаторах противника, и имитировать перемещение ложной цели), и в ряде других задач.

В том случае, когда каждый робот владеет информацией о направлении требуемого перемещения, задача легко решается. Но, учитывая специфику роевого применения больших групп микророботов, оснащенных малогабаритными прием-

ными устройствами, действующих в условиях недетерминированной среды, а возможно, и в условиях организованного противодействия противника, особое значение приобретает задача барражирования роя роботов при условии, что не все роботы информированы о требуемом направлении движения. Неполная информированность роботов роя о направлении движения также наблюдается при поиске цели: ближайшие к цели роботы уже обнаружили цель и устремляются к ней, в то время как в зоне видимости остальных роботов цель еще не появилась.

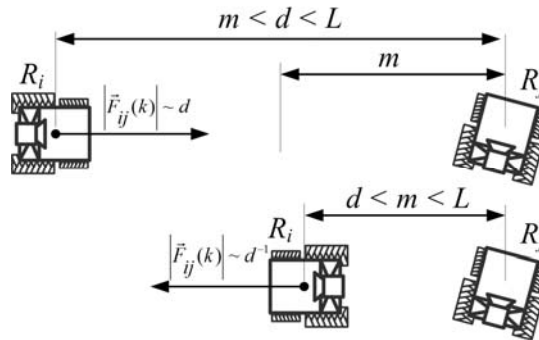


Рис. 1. Определение силы взаимодействия робота R_i с роботом R_j

Роботов группы, владеющих информацией о требуемом направлении движения, будем называть «ведущими» роботами. А остальных – ведомыми. У ведущих роботов формула расчета результирующей силы взаимодействия (1) дополнится еще одним слагаемым – вектором требуемого движения, обозначим его \vec{F}_M . Тогда формула расчета результирующей силы $\vec{F}_i(k)$ приобретет вид

$$\vec{F}_i(k) = \sum_{j=1}^n \vec{F}_{ij}(k) + \vec{F}_{iB}(k) + \vec{F}_{iM}. \quad (2)$$

При этом ведомые роботы двигаются по прежним правилам, за счет «притяжения» и «отталкивания» относительно ведущих роботов и друг друга, весь рой будет совершать направленное движение в заданном направлении.

Очевидно, что задача барражирования роя роботов имеет практическое значение только в случае если роботы способны обходить препятствия. Будем рассматривать случай, когда роботы не имеют априорной информации о расположении непреодолимых препятствий на пути движения, а также роботы, обнаружившие препятствие не способны передавать информацию о нем другим роботам роя.

Тогда формула расчета результирующей силы взаимодействия (1) дополнится еще одним слагаемым – вектором, лежащим на нормали к препятствию, но направленному в противоположную от препятствия сторону, обозначим его \vec{F}_{iH} .

Тогда формула расчета результирующей силы $\vec{F}_i(k)$ приобретет вид:

$$\vec{F}_i(k) = \sum_{j=1}^n \vec{F}_{ij}(k) + \vec{F}_{iB}(k) + \vec{F}_{iH} \quad (3)$$

В ряде практических задач, выполняемых группой микроботов, необходимо обеспечить барражирование роя роботов, либо его части (кластера, подгруппы) к некоторой цели. Примером такой цели может служить место дозаправки энергоносителем, зона уверенного приема радиосигнала, место приземления, груз, который необходимо переместить, или даже военный объект, который надо уничтожить.

В зависимости от характера информационного обмена в рое роботов, возможны два сценария:

1. Робот, обнаруживший цель, сообщает соседним роботам координаты цели, те передают «по цепочке» эту информацию своим соседям, и в скором времени все роботы роя имеют информацию о местоположении цели и могут двигаться в этом направлении.
2. Робот, обнаруживший цель, не может сообщить ее координаты другим роботам роя.

Так как в первом случае действия роя роботов вполне очевидны, рассмотрим второй сценарий. Робот, обнаруживший цель, может устремиться к ней, но не может сообщить другим роботам о причине изменения направления своего движения. В этом случае он становится «ведущим». Остальные «ведомые» роботы, соседствующие с «ведущим», будут «притягиваться» к нему и вынуждены будут следовать за ним. Микророботы, в зону видимости которых ведущий робот первоначально не попадал, будут притягиваться к тем микророботам, которые следуют за ведущим, и также смещаться по направлению следования ведущего робота. В итоге рой роботов будет следовать за ведущим микророботом. При наличии нескольких ведущих микророботов, движущихся к разным целям, рой будет вынужден разделиться на части (кластеры, подгруппы), каждая из которых последует за одним из ведущих микророботов.

Компьютерное моделирование. Работоспособность предложенного подхода к управлению роем микророботов была подтверждена с помощью компьютерного моделирования (рис. 2).

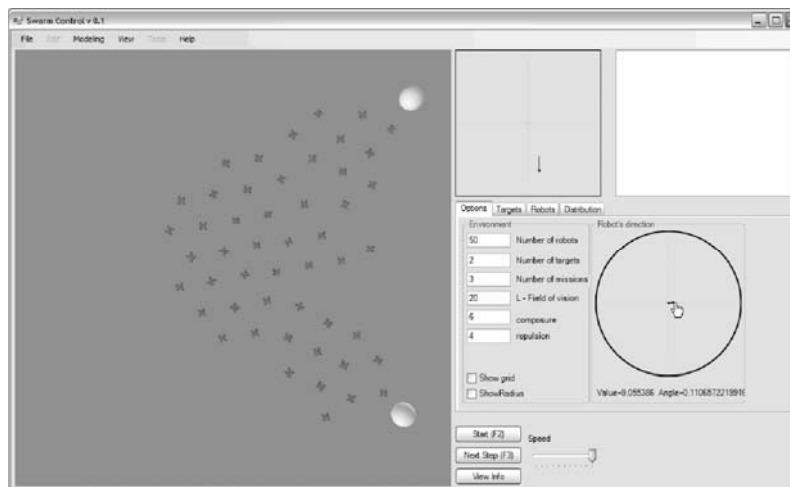


Рис. 2. Результаты программного моделирования: рой роботов барражирует к двум целям

При моделировании решались задачи соблюдения дистанций, барражирования в заданном направлении в безветренную погоду и при ветре, следование за «ведущим» из числа участников роя, поиск и обнаружение целей, следование к целям. При обнаружении нескольких целей рой разделяется на подгруппы, каждая из которых следует к одной из целей.

Выводы. В данной работе кратко описаны тенденции развития беспилотной авиации, показано, что со временем все большее значение будут приобретать автономные малоразмерные БПЛА, применяемые в группах. Описаны основные проблемы, стоящие на пути создания таких БПЛА, касающихся управления и

обеспечения связи в группе. Предложено использование методов роевого интеллекта для решения этих проблем. Сформулирован обобщенный алгоритм, позволяющий организовать роевое взаимодействие в группе аппаратов и рассмотрены примеры решения практических задач на основе этого алгоритма. Результаты подтверждены компьютерным моделированием.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Трубников Г.В.* Применение беспилотных летательных аппаратов в гражданских целях // http://www.uav.ru/articles/civil_uav_th.pdf.
2. *Соколов В.Б., Теряев Е.Д.* Беспилотные летательные аппараты: некоторые вопросы развития и применения (обзор по материалам публикаций в Интернете) // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 2. – С. 12-23.
3. *Амелин К.С., Антал Е.И., Васильев В.И., Гранчина Г.О.* Адаптивное управление автономной группой беспилотных летательных аппаратов // Стохастическая оптимизация в информатике. – 2009. – Т. 5, № 1-1. – С. 157-166.
4. *Попов В.А., Федотинов Д.В.* Развитие направления миниатюрных беспилотных летательных аппаратов за рубежом // ФГУП «ГосНИИАС» (http://uav.ru/articles/mav_abroad.pdf).
5. *Dorigo M., Birattari M.* Swarm intelligence // Scholarpedia. – 2007. – № 2 (9).

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н. А.А. Илюхин.

Иванов Донат Яковлевич

Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных систем им. академика А.В. Каляева федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет».

E-mail: donat.ivanov@gmail.com.

347928, г. Таганрог, ул. Чехова, 2.

Тел.: 88634315494.

Конструктор.

Ivanov Donat Yakovlevich

SFedU Acad. Kalyaev Scientific Research Institute of Multiprocessor Computer Systems.

E-mail: donat.ivanov@gmail.com.

2, Chekhov Street, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634315494.

Designer.

УДК 551.501.35 ÷ 551.508 ÷ 551.578.7

М.Т. Абшаев, А.М. Абшаев, М.А. Анаев, В.В. Соловьев, С.И. Шагин

МНОГОЦЕЛЕВОЙ АВИАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА, ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ОТ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА «НАРТ»

Рассматриваются возможности применения беспилотного авиационного комплекса для мониторинга природных и техногенных катастроф, контроля загрязнений атмосферы, лесных пожаров, состояния посевов, патрулирования газо- и нефтепроводов, защиты больших территорий от градобитий, ливневых паводков и увеличения осадков в засушливых регионах. Приведены состав комплекса, его краткое описание, основные технические характеристики БЛА, его бортовое оснащение системой управления, мониторинга и активного воздействия на облачные процессы, устройства запуска БЛА, схема и методика применения комплекса.

Беспилотный авиационный комплекс; бортовое оснащение; мониторинг; защита от стихийных явлений.