

Адаптивное управление автономной группой беспилотных летательных аппаратов¹

К. С. Амелин, Е. И. Антал, В. И. Васильев, Н. О. Граничина
Санкт-Петербургский Государственный Университет
konstantinamelin@mail.ru, cathrineantal@gmail.com, gnome@bk.ru,
ngranichina@mail.ru

В статье рассматривается возможность применения мультиагентной адаптивной системы для управления группой “Беспилотных летательных аппаратов”(БПЛА, Unmanned Aerial Vehicles, UAV). Система основана на автономном общении агентов через радиосигнал. Адаптивность позволит группе оперативно принимать эффективные решения по изменению сценария выполнения поставленной задачи.

Ключевые слова: мультиагентные системы, адаптивность, беспилотные летательные аппараты, автономная группа БПЛА.

1. Введение

В современном мире “Беспилотные летательные аппараты”(Unmanned Aerial Vehicles, БПЛА, UAV) приобретают все большую популярность в качестве легких и недорогих инструментов для исследования, разведки, воздушных съемок. До недавнего времени БПЛА имели преимущественно военное назначение, однако ставятся новые задачи гражданского назначения, которые успешно могут решаться с помощью БПЛА. В России ведутся разработки по внедрению БПЛА в областях экологической и сельскохозяйственной деятельности, а также при решении различных задач мониторинга местности [1]. Одно из главных преимуществ БПЛА — исключение человеческого фактора при выполнении поставленной задачи, который особенно сказывается в опасных для жизни человека задачах.

¹©К. С. Амелин, Е. И. Антал, В. И. Васильев, Н. О. Граничина, 2009

В статье рассматривается возможность применения мультиагентной адаптивной системы для управления группой БПЛА. Это позволит увеличить эффективность использования БПЛА за счет группового полета с автономным общением между БПЛА.

2. Беспилотные летательные аппараты

Три четверти века назад в Великобритании в воздух был поднят первый беспилотный радиоуправляемый самолет. С этого момента в большинстве стран не прекращались работы по разработке систем управления беспилотными летательными аппаратами. Работы по установке автопилотов на такие модели началась сравнительно недавно и продолжают по сей день.

В современном мире существует большое количество прототипов и летающих БПЛА. В большей степени это летательные аппараты, применяемые в военных целях. Такие модели оснащаются помимо стандартного набора аппаратуры для БПЛА различными видами вооружения, поисковыми системами высочайшего класса, черными ящиками и т. п. Эти комплексы довольно большие по размерам (в размахе крыла самолет достигает порядка 6-7 м и в весе около 600 кг с полной загрузкой). Фирма “Транзас” в Санкт-Петербурге является одной из крупнейших фирм в России по их изготовлению. Возможности использования легких и маленьких самолетов ограничиваются сравнительно меньшим ресурсом, но за счет группового использования этот недостаток может быть компенсирован. Кроме этого, у группы эффективно взаимодействующих легких и маленьких самолетов появляются дополнительные полезные свойства. Для крупных беспилотных летательных аппаратах в ближайшее время также станут актуальными проблемы группового взаимодействия, при этом “отработку” возможных сценариев этого взаимодействия удобнее и дешевле провести на малых и легких самолетах.

Беспилотные летательные аппараты, как правило, летают по заданной программе, которую человек может менять в процессе полета. Иногда используют несколько моделей, которые передают информацию на главный пульт, за счет чего человек за то же время получает более обширную информацию [2].

Примером применения мультиагентного подхода к управлению полетом группы БПЛА может служить система, описанная в статье [3]. Авторы статьи описывают взаимодействие главного компьютера (самолет управляемый человеком) и группы БПЛА, которые выполняют задачи поставленные первым.

3. Мультиагентное управление

Большинство современных систем управления группой БПЛА характеризуются отсутствием автономной постановки новых задач, позволяющей группе оперативно принимать эффективные решения по изменению сценария выполнения поставленной задачи. Типичными примерами событий, вызывающих необходимость в постановке новых задач, являются: появление новой выгодной информации, для более эффективного выполнения задачи; выход из строя части имеющихся ресурсов; а также изменение критериев принятия решений. Чем выше неопределенность, чем более распределенный характер имеют процессы принятия решения и чем чаще случаются незапланированные события, тем ниже эффективность существующих систем, неспособных самостоятельно принимать решения и автоматически перестраиваться под изменения в среде. Кроме того, любая модификация схем принятия решений в традиционных системах представляет собой весьма сложный и трудоемкий процесс и требует высокой квалификации исполнителей, что делает разработку и эксплуатацию рассматриваемых систем крайне дорогостоящими.

Для решения подобных проблем применяются мультиагентные технологии. В основе этих технологий лежит понятие “агента”, программного объекта, способного воспринимать ситуацию, принимать решения и взаимодействовать с себе подобными.

Характерными особенностями интеллектуальных агентов являются:

- коллегальность, т. е. способность к коллективному целенаправленному поведению в интересах решения общей задачи;
- автономность, т. е. способность самостоятельно решать локальные задачи;
- активность, т. е. способность к активным действиям ради достижения общих и локальных целей;

- информационная и двигательная мобильность, т. е. способность активно перемещаться и целенаправленно искать и находить информацию, энергию и объекты, необходимые для кооперативного решения общей задачи;
- адаптивность, т. е. способность автоматически приспосабливаться к неопределенным условиям в динамической среде.

Эти возможности кардинально отличают мультиагентные системы (МАС) от существующих “жестко” организованных систем управления группы автономных БПЛА [4].

Для разработки мультиагентной системы для группы БПЛА желательно выполнение двух основных требований:

- 1) на каждой модели должен быть небольшой, но мощный микрокомпьютер для работы в реальном времени как автопилот, а также для общения агентов между собой;
- 2) необходимо организовать уверенную связь между агентами группы.

4. Разработка СУ группой БПЛА

На кафедре системного программирования математико-механического факультета СПбГУ совместно с учебно-исследовательской “Лабораторией системного программирования и информационных технологий” (СПРИНТ), финансируемой корпорацией Интел, в 2009 году создана группа студентов и аспирантов, поставившая перед собой цель — разработать систему управления (СУ) группой БПЛА.

В основе проекта планируется использовать легкий беспилотный самолет, который сделан из передовых полимерных материалов. Это модель мотоплана, на котором установлен бесколлекторный двигатель с управляющим микроконтроллером, микрокомпьютер, датчики высоты и скорости, стабилизирующие пирозлементы и пьезогироскопы, спутниковая навигация, мощные управляющие сервомеханизмы. Питание такой модели производится за счет легкого литий-полимерного (LI-PO) или литий-фосфатного (LiFePO₄) аккумулятора. Один агент весит примерно 2-2,5 кг, с размахом крыла 2,5 м, и длиной 90 см. Подобные летательные устройства широко используются во многих развитых странах для решения ряда

гражданских задач, например, в метеорологии (определение температуры, давления, скорости ветра), при измерении тепловых колебаний (поиск людей), съемке по заданному маршруту.

Работа системы будет основана на “общении” моделей друг с другом, при этом будет получаться новая дополнительная информация для корректировки полета автопилотом.

Работа микрокомпьютера одного агента группы БПЛА моделей заключается в решении четырех основных задач:

- определения точного местоположения и степени выполнения им задачи;
- сравнение своих данных с заданной задачей;
- отправки своих данных другим агентам системы и принятия их данных;
- принятие корректирующих действий для возврата к выполнению задачи.

Микрокомпьютер в БПЛА отвечает за функции низкого и высокого уровня управления. Низкоуровневая система управления отвечает за работу датчиков, двигателя, сервомеханизмов. Система управления высокого уровня отвечает за устойчивый полет, выравнивание модели, направление полета модели, корректировку и поддержание нужного курса модели, а также в целом за выполнение своей задачи. Управления человеком ограничивается заданием “глобальных” команд (взлет, посадка, направление, сброс груза и т. п.). Мы также вводим новый уровень управления — это мульти-агентная система группы БПЛА, которая отвечает за автономное взаимодействие внутри группы.

В рамках работ группы планируется решение задач облета территории по заданному плану и поиска источника сигнала автономным звеном (группой) беспилотных летательных аппаратов с применением мультиагентного подхода. Эти задачи имеют множество актуальных приложений в разнообразных областях, таких как, военное дело, геодезия (обследование территории), география (картирование), дозиметрия (определение уровня радиации), задачи охраны, поиск потерявшихся людей, геологическая и метеорологическая разведка, разведка в зоне повышенной радиации. Коллективное поведение БПЛА позволит обеспечить точное нахождение координат цели. После чего становится возможной ее съемка и передача по-

токового видео оператору, который распознает картину и уточняет задачу.

Для работы автономной группы БПЛА в модели будут использованы средства связи по радиосигналу на частоте 2,4 ГГц. При таком взаимодействии удаление двух агентов друг от друга может составлять до 1500 м. За счет связи агентов наша мультиагентная система будет способна корректировать работу автопилотов в звене. Таким образом, работу мультиагентной системы в группе БПЛА можно свести к решению двух основных задач:

- определения точного местонахождения группы БПЛА и степени выполнения задачи на основе общих данных группы;
- определения лучшего сценария для каждого агента для выполнения задачи группой.

Отметим дополнительные полезные свойства, которыми будет обладать группа взаимодействующих моделей по сравнению с использованием одного БПЛА:

- коллективный облет вырабатывает большую картину мира;
- взаимодействие между собой дает возможность корректировки плана и оптимизации маршрута полета, основываясь на уже имеющихся данных с других БПЛА;
- большее множество стратегий;
- возможность создания объемной картины мира;
- более эффективное решение задач (геология, метеорология);
- больше гарантий выполнения задачи;
- выигрыш во времени (главное условие для задач поиска потерявшихся людей);
- возможность одновременного обследования территории;
- возможность постановки разных задач для разных участников группы БПЛА.

5. Решение задачи об обнаружении источников радиосигнала группой беспилотных летательных аппаратов

Для того чтобы наглядно продемонстрировать преимущество группы летательных аппаратов перед одним, приведем в качестве примера решение конкретной задачи об обнаружении источников

радиосигнала. Пусть у нас есть несколько источников радиосигнала и несколько самолетов, оборудованных сверхчувствительными датчиками, способными улавливать мощность радиосигнала. Кроме того, часть самолетов помимо датчиков имеют на борту камеры, которые необходимы для того, чтобы сделать снимки предполагаемых источников радиосигнала. Перед экспериментом число источников нам не известно. Известно, что они могут перемещаться, но при этом все вещают на одной частоте.

Одному самолету никогда не решить подобную задачу точно. Это связано с тем, что каждый самолет в отдельности получает зашумленный сигнал. Однако, группе, как мы далее покажем, удастся точно и быстро определять правильное местонахождение источников.

Разработанная для этой задачи модель, как и в [5], использует три ключевые идеи в своем решении.

1. Каждый самолет использует байесову сеть для построения распределения вероятности нахождения источника радиосигнала в каждой конкретной точке. Для построения сети он использует не только свои данные, но и выборочные показатели сигнала, пересылаемые другими летательными аппаратами. Все участники взаимодействия после измерения радиочастотного сигнала определяют, какая именно полученная информация может максимально приблизить их к цели, и пересылают ее друг другу. Таким образом, каждый самолет для каждой точки облетаемой территории высчитывает вероятность нахождения источника сигнала в данной точке. По этим вероятностям строится карта энтропии информации.

2. Каждый самолет имеет свой планировщик маршрута, который на вход принимает начальную точку пути, карту энтропии, полученную аппаратом, маршруты других самолетов, карту местности, а на выходе выдает координаты дальнейшего полета. Планировщик стремится решить две основные задачи: облететь точки с максимальной энтропией информации, дабы максимально уточнить картину мира, и пролететь над участками, которые не исследованы другими участниками группы. При разработке маршрута он также принимает во внимание топографические особенности изучаемой местности.

3. Для того, чтобы по карте распределения вероятности находж-

дения источников определить группу мест, в которые необходимо направить самолеты, оснащенные камерами для ведения съемки, используется простейший алгоритм кластеризации.

Математическое обеспечение БПЛА состоит из двух основных компонент: реализации логики мультиагентного взаимодействия и автопилота. Первая компонента включает в себя построитель байесовой сети, построитель карты энтропии информации, планировщик маршрута и интерфейс для взаимодействия с автопилотом. Обмен данными с самим автопилотом происходит лишь при передаче ему дальнейших координат полета и приеме от него навигационной информации.

Каждый самолет, получив сообщение от другого участника группы, запускает процедуры уточнения карты и нахождения наиболее вероятных координат источников. Таким образом, дальнейший маршрут БПЛА постоянно динамически корректируется. Главными преимуществами такого подхода является простота реализации и возможность масштабирования для меняющегося количества самолетов.

Подводя итог краткого описания задачи, заметим, что она имеет множество важных применений. Прежде всего — военная разведка и поиск людей, которых можно обнаруживать по сигналу, например, исходящему от телефона.

6. Программное обеспечение

Программное обеспечение бортовой системы управления самолета будет максимально разнесено на две основные группы: компоненты, независимые от физического устройства (например, планировщик маршрута, фильтры и т. п.) и зависящие (драйверы сенсоров, автопилот), для обеспечения дальнейшей масштабируемости проекта и легкого изменения внутренней логики аппарата.

Для реализации будет использовано программное обеспечение, основанное на методе взаимодействия *“прокси”*. Прокси — программное представление каждого участника команды. При помощи прокси можно эффективно реализовать общение между агентами и человеком. Эта технология позволяет правильно использовать возможности каждой сущности и учитывать ограничения [6]. Меж-

ду прокси будет разработан протокол передачи сообщений и четко определен алгоритм взаимодействия. Программное обеспечение каждого прокси будет состоять из пяти компонент:

- 1) алгоритм коммуникации;
- 2) алгоритм координации в группе;
- 3) пул состояний;
- 4) алгоритм регулирования автономности прокси, который определяет, когда прокси должен действовать автономно, а когда передавать контроль группе,
- 5) интерфейс взаимодействия с прокси.

Взаимодействие между агентами будет реализовано на основе известного метода классной доски. Прокси действует по событиям. Когда приходит новое сообщение, оно добавляется в пул состояний, как новое представление прокси о внешней среде. В свою очередь любое изменение состояния прокси влечет запуск алгоритма координации и регулировки автономности. Прокси может получать три основных вида сообщений от внешнего мира:

- 1) о состоянии выполняемого задания;
- 2) о привлечении данного прокси в следующее задание;
- 3) о завершении задания.

В зависимости от полученного знания, прокси согласно своему алгоритму координации, принимает решение о взаимодействии с группой. Например, передает дальше полученное сообщение или устанавливает соединение с другим прокси.

Технически программное обеспечение каждого БПЛА будет размещаться на бортовом микрокомпьютере, который непосредственно передает управляющую информацию, необходимую для перемещения модели.

Модель подобной организации роботов и человека имеет ряд очевидных преимуществ. Техника, работающая под управлением человека, но в то же время способная принимать автономные решения, позволяет решать ряд задач, связанных с исследованием труднодоступных или опасных местностей, поиском, нанесением точечных ударов. Использование БПЛА во многих случаях позволит существенно снизить стоимость различных поисковых операций и обезопасить процедуру их проведения.

7. Будущие планы

На ближайшее время в планах по созданию группы БПЛА — создание опытного образца летающего самолета с бортовым микрокомпьютером и различными датчиками, который автономно общается со стационарным компьютером на земле по радиосигналу. Стационарный компьютер моделирует полет одного или нескольких агентов в группе. Также, планируется расширение базы сценариев для выполнения большего количества задач при различных климатических условиях. Эти сценарии будут записаны в бортовой микрокомпьютер как базовые. При нахождении наиболее удачного сценария для выполнения задачи системой, этот сценарий будет записываться в память. Таким образом, будет происходить частичное самообучение системы. Далее — переход к автономной работе группы.

Список литературы

- [1] *Трубников Г.В.* Применение беспилотных летательных аппаратов в гражданских целях. 2008.
- [2] *Официальный сайт по беспилотным летательным аппаратам* / <http://bp-la.ru/>.
- [3] *Baxter J.W., Horn G.S., Leivers D.P.* Fly-by-Agent: Controlling a Pool of UAVs via a Multi-Agent System. — QinetiQ Ltd Malvern Technology Centre St Andrews Road. Malvern. UK. 2007.
- [4] *Скобелев П.О.* Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений // Автометрия. № 6. С. 45—61.
- [5] *Scerri P., Grinton R., Owens S., Scerri D., Sycara K.* Geolocation of RF Emitters by Many UAVs — School of Computer Science. Carnegie Mellon University. Pittsburgh, PA 15213, USA.
- [6] *Scerri P., Pynadath D., Johnson L., Rosenbloom P., Si M., Schurr N., Tambe M.* A Prototype Infrastructure for Distributed RobotAgentPerson Teams — Information Sciences Institute and Computer Science Department. University of Southern California. 4676 Admiralty Way, Marina del Rey, CA 90292.