

МАРШРУТИЗАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Е.И. Бавбель

Научный руководитель – Алексеев В.Ф. к.т.н., доцент

**Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники**

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), также известные как дроны, очень распространены в современном обществе. Они используются не только для развлечения, фотографии, киносъемки и наблюдения, но они также находят широкое промышленное применение. Amazon, крупнейшая в мире компания электронной коммерции, запустила Prime Air [1], будущую систему доставки, использующую БПЛА, предназначенную для быстрой доставки товаров клиентам. В то же время пандемия

COVID-19 привела к необходимости ограничить физический контакт между клиентами и работниками службы доставки. Одним из вариантов является замена работников службы доставки на БПЛА для безопасной доставки товаров без контакта. Поэтому системы доставки с помощью БПЛА, такие как Prime Air, являются перспективным бизнесом, поскольку они доставляют товары так быстро и безопасно, как это могут сделать работники службы доставки.

С ростом бизнеса по доставке с помощью БПЛА, системы управления доставкой также будут увеличиваться. Системы управления должны формировать планы доставки, которые удовлетворяют всех клиентов, использующих БПЛА для своевременной доставки. В частности, необходимо программное обеспечение, которое определяет маршруты БПЛА для минимизации расходов на поездки путем решения проблем маршрутизации транспортных средств.

Однако уникальные характеристики БПЛА ограничивают их при доставке товаров клиентам, поэтому в сети БПЛА необходимо описать специальную среду, которая может проверить эти характеристики. Во-первых, БПЛА имеют меньшую дальность полета, чем наземные транспортные средства. Поэтому система с одним складом не подходит для БПЛА, поскольку они не могут доставлять товары клиентам, которые находятся за пределами максимальной дальности. Во-вторых, здания или деревья мешают БПЛА перемещаться по прямым линиям от склада к клиентам, поэтому нам нужны промежуточные вершины, которые БПЛА не обязательно посещают, но пролетают мимо по пути к клиентам [2].

Большинство задач маршрутизации предполагают, что спроектированные маршруты являются гамильтоновыми циклами [3], где транспортное средство посещает каждую вершину ровно один раз, прежде чем вернуться в исходную вершину. Например, в работе [4] Лим и др. предположили, что вершины сети состоят из депо и клиентов, поэтому транспортное средство стартовало из одного депо и проехало по всем вершинам, чтобы удовлетворить спрос клиентов.

В практических приложениях требуется сотрудничество нескольких БПЛА для выполнения некоторых задач, таких как посещение определенной области или транспортировка некоторых грузов. Поэтому проблема оптимальной маршрутизации и сотрудничества БПЛА признала интерес организаций, внедряющих БПЛА. Она намного сложнее по сравнению с традиционной задачей маршрутизации транспортных средств (VRP) из-за ее собственных спецификаций [5]. Различия между БПЛА и традиционным VRP заключаются в следующем:

- больше неопределенностей – они не автономны, так как для удаленного руководства в сложной и динамической среде требуется группа операторов. Кроме того, существуют более неопределенные пространственные и региональные факторы для работы БПЛА в трехмерном пространстве, поэтому по сравнению с обычным VRP у БПЛА больше неопределенностей;

- более сложный процесс управления – система управления является ядром БПЛА. Система используется для управления взлетом, посадкой, жестами и направлением, чтобы БПЛА мог летать в соответствии с определенной траекторией и выполнять назначенную миссию, при этом обходить препятствия во время полета. В настоящее время система управления полетом гражданских БПЛА в основном подчиняется телеуправлению;

- различный фокус ограничения – БПЛА в основном сосредоточены на том, как прибыть в пункт назначения, как обойти препятствия. Они обычно применяются для обнаружения линии, проверки обследования и наблюдения за дорогами, поэтому от них требуется только пройти через указанные точки или линию. В то время как фокус

для VRP заключается в оптимизации маршрута, поэтому ограничения грузоподъемности будут приниматься во внимание, поскольку каждая точка имеет требования к грузу, в то время как для транспортных средств существует ограничение грузоподъемности.

Поскольку задачи полета и навигации БПЛА все больше автоматизируются для получения экономии за счет масштаба и скорости операций и поддержки крупномасштабных операций, маршрутизация и выполнение БПЛА развиваются от команд операторов, управляющих одним БПЛА, к одному оператору, управляющему несколькими БПЛА, как показано на рисунке.

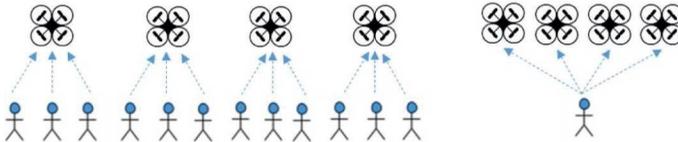


Рисунок 1 – Переход от групп операторов, управляющих одним беспилотным летательным аппаратом (БПЛА), к одному оператору, управляющему несколькими БПЛА

Растущая степень автономности и автоматизации создала непрерывный толчок для разработки методов управления сложными операциями БПЛА. Такие системы, естественно, потребуют разработки передовых методов прогнозирования, маршрутизации и планирования, а также внедрения различных систем для поддержки лиц, принимающих решения, в управлении сложными операциями. Также стоит отметить, что большинство вкладов сосредоточены на характеристиках VRP, конкретных или мультимодальных режимах транспортировки и, в некоторой степени, на VRP для автоматизированной наземной транспортировки (обычно это внутренние роботизированные решения, такие как AGV, мобильные роботы). Хотя классическая VRP хорошо изучена, методы и подходы, найденные в этой области, по-прежнему весьма применимы для развития новых технологий в области эксплуатации БПЛА [6].

На основе вышесказанного можно выделить основные проблемы маршрутизации:

- регулирование воздушного пространства. Необходимо учитывать правила и ограничения, установленные авиационными властями, особенно в городской среде и рядом с аэропортами.
- координация с другими БПЛА. В условиях увеличения числа БПЛА в небе важна разработка систем для управления трафиком и предотвращения столкновений между дронами.
- безопасность данных. Защита информации, передаваемой между БПЛА и наземными станциями, от киберугроз и несанкционированного доступа.

В заключение следует отметить, что маршрутизация БПЛА – это комплексная задача, требующая учета множества факторов и применения современных технологий. Автономность, оптимизация и безопасность являются ключевыми аспектами, которые влияют на процесс маршрутизации. С развитием технологий ИИ и сенсоров, а также с учетом потребностей различных отраслей, маршрутизация БПЛА будет продолжать эволюционировать, открывая новые возможности для использования беспилотных технологий.

Библиографический список

1. Singireddy, SRR; Daim, TU Технологическая дорожная карта: доставка дронами—Amazon Prime Air. В *Infrastructure and Technology Management*; Springer: Berlin, Germany, 2018; стр. 387–412.
2. Alotaibi, K.A.; Rosenberger, J.M.; Mattingly, S.P.; Punugu, R.K.; Visoldilokpun, S. Unmanned aerial vehicle routing in the presence of threats. *Comput. Ind. Eng.* 2018, *115*, 190–205.
3. Harary, F.; Nash-Williams, C.S.J. On eulerian and hamiltonian graphs and line graphs. *Can. Math. Bull.* 1965, *8*, 701–709.
4. Lim, A.; Wang, F. Multi-depot vehicle routing problem: A one-stage approach. *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.* 2005, *2*, 397–402.
5. Vijay K. Shetty, Moises Sudit, Rakesh Nagi, Priority-based assignment and routing of a fleet of unmanned combat aerial vehicles, *Computers & Operations Research*, Volume 35, Issue 6, 2008, Pages 1813-1828.
6. Chandran, B.; Raghavan, S. Modeling and Solving the Capacitated Vehicle Routing Problem on Trees. In *Mathematics of Neural Networks*; Springer Science and Business Media LLC: Berlin, Germany, 2008; Volume 43, pp. 239–261.