

## АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТРАЕКТОРИИ БПЛА ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА МЕСТНОСТЬЮ

*В настоящей работе рассматривается проблема автономного отслеживания группы наземных статических целей с использованием беспилотных летательных аппаратов с неподвижным крылом (БПЛА). В этом сценарии БПЛА оснащены датчиками, которые обеспечивают круговую область видимости, либо могут быть приведены к ней. Учитываются динамические ограничения, которые имеют БПЛА с неподвижным крылом. Планирование кратчайшего пути для БПЛА, а именно пути Дубинса [1,2], является сложной задачей NP. Мы предлагаем алгоритм, основанный на решении задачи коммивояжера с окрестностями в виде окружностей. Решением является субоптимальный путь Дубинса, позволяющий отслеживать группу статических целей и снизить потери времени и ресурсов. Предлагаемый алгоритм проверяется посредством моделирования на генерируемых случайных наборах координат статических целей.*

### ВВЕДЕНИЕ

В ранние годы БПЛА полностью контролировались человеком-оператором с земли. По мере развития технологий и роста сложности миссий, некоторые из основных задач были автоматизированы. Например, планирование полета и траектории от точки до точки маршрута, распределение целей между для БПЛА, уменьшив нагрузку на операторов. Это позволяет им сосредоточиться на других задачах, таких как отслеживание целей и их идентификация.

За последние два десятилетия увеличилось использование беспилотных летательных аппаратов, как в военных, так и в гражданских приложениях [3]. Гражданские приложения используются в картографировании, геодезии, мониторинге пожаров, осмотре состояния коммуникаций и поисково-спасательных операциях. В рамках рассматриваемой задачи интересно применение БПЛА для облета статических целей. Такими целями могут являться линии электропередач, высоковольтные башни и другие техногенные объекты, работающие без участия человека. Необходимо периодически производить их визуальный осмотр планово или в экстренном случае определить место аварии. Это может быть затруднительно, так как данные объекты располагаются на больших расстояниях и иногда в труднодоступных районах, например горах. В военном приложении статическими целями могут быть объекты инфраструктуры, позиции противника.

БПЛА обычно имеет небольшое поле зрения, и не может охватить всю интересующую область одновременно. Существующие подходы к планированию полета БПЛА с фиксированным крылом рассматривают проблему как задачу коммивояжера. В этом случае БПЛА должен пролетать через определенные точки, а не в их окрестности. Этот подход игнорирует некоторые важные соображения реального мира и может произвести непрактичные планы миссий. Нужно учитывать, что БПЛА имеет поле зрения, кото-

рое определяется высотой полета, углом обзора камеры, возможностью панорамирования, поворота камеры и масштабирования.

### I. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА

Мы предлагаем алгоритм, состоящий из нескольких шагов:

1. Решение классической задачи коммивояжера эвристическим методом Лин-Кернигана [4].
2. Решения задачи коммивояжера с окрестностями, который использует результат, полученный на предыдущем шаге. Для этого разработан геометрический алгоритм, являющийся жадным и эвристическим. На каждом этапе он анализирует расположение трех последовательных точек, не рассматривая проблему в целом. Решение на каждом шаге рассчитывается через геометрические преобразования, без использования методов оптимизации. После завершения основного цикла выбора точек выполняется постобработка, удаляющая лишние точки из пути с целью приблизить решение к глобальному оптимуму. Затем в каждой точке маршрута, изменяющей направления пути, рассчитывается курс. Это необходимо для построения пути Дубинса. Путь Дубинса – кратчайшая кривая, которая соединяет две точки в двумерной евклидовой плоскости с ограничением на кривизну пути и с заданными начальными и конечными касательными к пути, с условием, что транспортное средство может двигаться только вперед.
3. Решение задачи построения пути Дубинса, использующее результат, полученное на предыдущем шаге и учитывающее ограничения динамики БПЛА.

## II. МОДЕЛИРОВАНИЕ

Пример решения показан на рисунке 1:

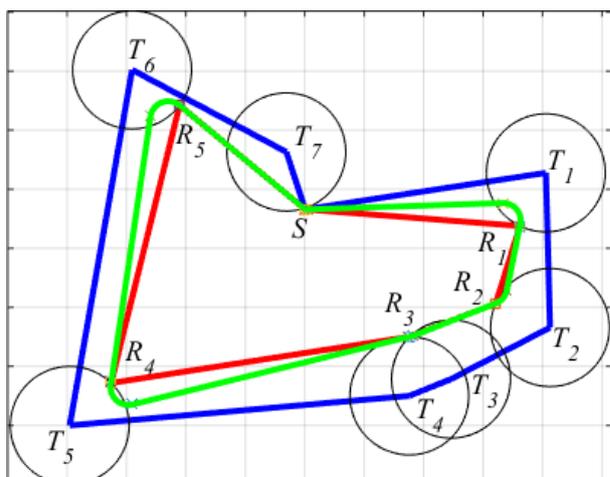


Рис. 1 – Построение пути Дубинса для наблюдения за местностью БПЛА с круговым полем зрения

Здесь как  $S$  обозначено исходное положение БПЛА. Как  $T_i$  обозначены цели. Их порядковые номера получены на шаге 1. Как  $R_i$  обозначены точки результата шага 2. Плавная линия без обозначения это путь Дубинса для данного набора целей, полученный на шаге 3.

Алгоритм может также работать в случае с многократным перекрытием зон интереса, рисунок 2.

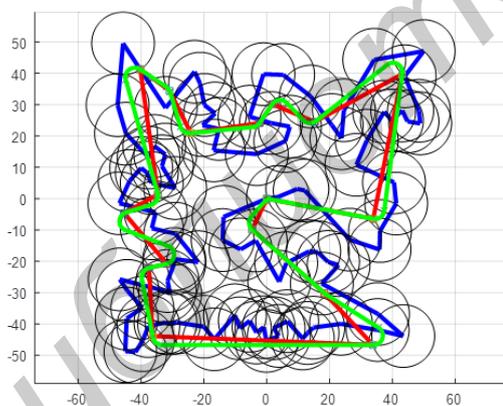


Рис. 2 – 100 целей,  $r=10$ , на участке 100x100

Симаньков Владимир Иванович, аспирант кафедры систем управления БГУИР, simankou@tut.by.

Научный руководитель: Марков Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры систем управления БГУИР, markov@bsuir.by.

Dr Dymkou Siarhei Michailovich, Research Scientist, Aeronautical Sciences Division, Control Science Group, Temasek Laboratories, National University of Singapore, tslsmd@nus.edu.sg.

При увеличении расстояния между целями относительный выигрыш уменьшается, рисунок 3.

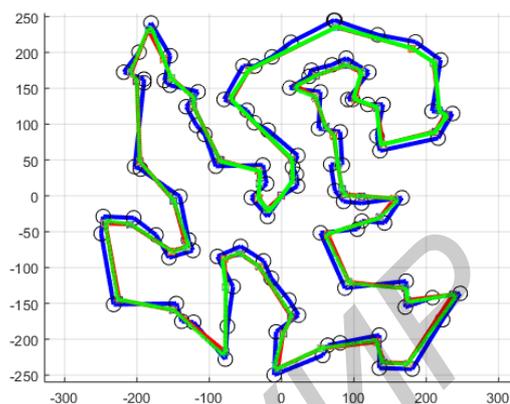


Рис. 3 – 100 целей,  $r=10$ , на участке 500x500

Следовательно, наибольший выигрыш достигается при компактном расположении целей.

## III. ВЫВОДЫ

Предложенный эвристический жадный алгоритм позволяет сократить путь БПЛА по сравнению с решением классической задачи коммивояжера. Также повышается прямолинейность пути, снижается количество поворотов, что особенно важно для БПЛА с фиксированным крылом.

## IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shkel, A. M. Classification of the Dubins set //A. M. Shkel, V. Lumelsky, — Robotics and Autonomous Systems 34 (2001) 179–202
2. Walker, A. Hard Real-Time Motion Planning for Autonomous Vehicles// Walker, A. — "Hard Real-Time Motion Planning for Autonomous Vehicles PhD thesis, Swinburne University, 2011.
3. Hea, Zhirong. Targets Tracking by UAVs in An Urban Area // Zhirong Hea,b, Jian-Xin Xua and Kai-Yew Lum — 10th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA) Hangzhou, China, June 12-14, 2013
4. LKH Version 2.0.7 (November 2012). [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.akira.ruc.dk/~keld/research/LKH/>. — Дата доступа: 01.04.2017.