

Д. В. Моисеев, канд. техн. наук, доц., **В. М. Чинь**, аспирант, Trinhminh6666@gmail.com,
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Маршрутизация полета легкого беспилотного летательного аппарата в поле постоянного ветра с учетом ограничения на продолжительность полета

Предложена методика нахождения маршрута облета максимального числа точек, местоположение которых задано, за минимальное время, не превосходящее допустимое, с учетом воздействия постоянного ветрового поля. Методика предусматривает последовательное решение двух определенным образом составленных, связанных между собой задач булевого линейного программирования. Приведен пример, поясняющий суть и демонстрирующий работоспособность предложенной процедуры маршрутизации полета.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, маршрутизация полета, задача булевого линейного программирования, поле постоянного ветра

Введение

В последнее время появился ряд статей [1–8], в которых с некоторыми вариациями обсуждается задача предполетной маршрутизации применительно к беспилотному летательному аппарату (БПЛА). Актуальность этой задачи обусловлена тем, что ее решение необходимо при составлении плана полета, а также при моделировании применения БПЛА для получения оценок его целевой эффективности. В указанных работах составление маршрута сводится к определению последовательности пролета над точками с известными координатами. При этом понятие оптимальности маршрута авторы связывают, с одной стороны, с увеличением числа точек, включенных в маршрут, а с другой — с уменьшением времени полета по маршруту. В частности, в работах [1, 3–5, 7, 8] задача маршрутизации интерпретирована как задача коммивояжера, что предполагает введение требования на безусловный облет всех заданных точек, а время полета рассматривается как минимизируемый критерий. Стремление уменьшить время облета точек объясняется желанием снизить расход горючего и повысить оперативность доставки целевой информации [2–4]. Использование такого критерия является косвенным отражением того, что и запас горючего, и время, в течение которого должна быть доставлена целевая информация, фактически ограничены. В этой ситуации представляет практический интерес рассмотрение задачи маршрутизации при явном учете ограничения на время полета по маршруту. При этом в качестве максимизируемого критерия, очевидно, должно выступать число точек, которые удастся связать маршрутом. Понятно, что в такой постановке вполне возможно, что не все точки из числа заданных окажутся включенными в оптимальный маршрут.

Явный учет ограничения на время полета по маршруту с точки зрения математической трактовки задачи маршрутизации уже не позволяет говорить о ней как о классической задаче коммивояжера. Предлагается формализовать такую задачу как задачу линейного булевого программирования.

Техническая постановка задачи

Особенности обсуждаемой задачи маршрутизации полета обусловлены типом рассматриваемого летательного аппарата и характером целевой обстановки. При употреблении термина "легкий БПЛА" имеется в виду, что время и зона полета такого аппарата достаточно малы для того, чтобы рассматривать ветер как постоянное ветровое поле, его воздушная скорость может оказаться соизмерима со скоростью ветра, а радиус разворота невелик.

Целевая обстановка задается совокупностью равноценных точек с известным местоположением, которые желательно включить в маршрут. Особенностью целевой обстановки является то, что точки, связываемые маршрутом в зоне полета, удалены друг от друга настолько, что основное время приходится на полет между точками по определенному в соответствии с маршрутом курсу, а время на выполнение разворотов для изменения курса с учетом высокой маневренности легкого БПЛА оказывается пренебрежимо малым.

Постановка задачи маршрутизации формулируется следующим образом. Необходимо с учетом информации о направлении и скорости ветра в зоне полета найти маршрут облета максимального числа точек из числа заданных своим местоположением с учетом ограничения на продолжительность полета. Если таких маршрутов окажется несколько, то из них надо выбрать наискорейший. Высота полета БПЛА по маршруту полагается постоянной. Таким образом,

в общем случае построение маршрута сводится к решению двух оптимизационных задач. В дальнейшем для удобства будем задачу максимизации числа точек в маршруте называть основной, а задачу минимизации времени полета — вспомогательной.

Математическая постановка основной задачи маршрутизации

Формулируя математические постановки задач маршрутизации полета здесь и далее, будем следовать подходу, изложенному в работе [7]. Начнем с формирования математической постановки основной задачи маршрутизации, т. е. нахождения замкнутого маршрута облета максимального числа точек с учетом ограничения на продолжительность полета. Пусть заданы координаты n точек, каждая из которых имеет один из номеров с первого по n . Введем в рассмотрение $n(n-1)$ целочисленных булевых переменных $x_{ij} \in \{0, 1\}$, $(i, j = \overline{1, n}; i \neq j)$. Если $x_{ij} = 1$, то, двигаясь по маршруту, БПЛА из точки i перелетает непосредственно в точку j . Если $x_{ij} = 0$, то при движении по маршруту непосредственный перелет из точки с номером i в точку с номером j не предусмотрен.

Критерий, подлежащий максимизации, запишется в виде

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} \rightarrow \max \quad (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}; i \neq j). \quad (1)$$

Для учета ограничения на продолжительность полета необходимо выполнить условие

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} \leq T_{\text{доп}} \quad (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}; i \neq j). \quad (2)$$

Здесь $T_{\text{доп}}$ — допустимое время полета по маршруту. Время t_{ij} перелета из точки с номером i в точку с номером j рассчитывается по методике, предложенной в работе [4]. Отметим, что речь идет о времени наискорейшего перелета между двумя точками в поле постоянного ветра.

Для замкнутого маршрута должны быть выполнены следующие ограничения:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq 1 \quad (j = \overline{1, n}; j \neq s); \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq 1 \quad (i = \overline{1, n}; i \neq s); \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{is} = 1 \quad (i \neq s); \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{sj} = 1 \quad (j \neq s); \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} - \sum_{i=1}^n x_{ji} = 0 \quad (j = \overline{1, n}; j \neq s). \quad (7)$$

Условия (2)—(7) существенно отличают математическую запись обсуждаемой задачи от классической задачи коммивояжера. Неравенства (3) и (4) отражают то условие, что каждая точка может быть

включена в маршрут не более одного раза, но может и не включаться в него. Условия (5) и (6) отражают тот факт, что точка с номером s является точкой старта и финиша одновременно. Особое выделение точки старта—финиша в данной постановке, в отличие от классической задачи коммивояжера, необходимо, поскольку не все точки могут попасть в маршрут, но для точки старта—финиша это необходимо.

Условия (7) обеспечивают связность, или физическую реализуемость, находимого маршрута. Математически решение обсуждаемой задачи отыскания замкнутого маршрута облета максимального числа точек с учетом ограничения на время полета сводится к нахождению $n(n-1)$ булевых переменных $x_{ij} \in \{0, 1\}$, $(i, j = \overline{1, n}; i \neq j)$, которые максимизируют (1) при выполнении условий (2)—(7), дополненных условием, исключающим в решении наличие более одного подцикла. Найденные в результате переменные однозначно опишут искомый оптимальный маршрут полета.

Процедура и пример решения основной задачи маршрутизации

Решение задачи (1)—(7) может состоять из нескольких простых вершинно-непересекающихся циклов, так называемых подциклов. Для исключения появления решения в виде нескольких подциклов в постановку (1)—(7) обычно вводятся дополнительные ограничения. Однако в данной работе в качестве альтернативы был использован более эффективный в вычислительном отношении метод последовательного исключения подциклов [9], сходимость которого доказана [10]. Суть метода заключается в том, что если получаемое решение задачи (1)—(7) содержит подциклы, то вводятся дополнительные ограничения, которые запрещают не менее одного из этих подциклов, после чего решение ищется заново. В рассматриваемом случае процесс продолжается до того момента, когда в результате очередной итерации будет получен только один подцикл, который и является искомым решением задачи маршрутизации.

Рассмотрим в качестве иллюстративного примера расчет замкнутого маршрута облета 10 точек, расположение которых в зоне полета размером 30×30 километров было сгенерировано с помощью датчика равномерно распределенных случайных чисел. Координаты этих точек в системе координат, жестко связанной с Земной поверхностью, приведены в таблице. В качестве точки старта—финиша была задана точка с номером $s = 1$. Воздушная скорость БПЛА при расчетах принималась равной 18,05 м/с, а скорость юго-западного ветра — равной 9,72 м/с.

Размещение точек в зоне полета, направление ветра и результаты решения рассматриваемой основной задачи маршрутизации для нескольких значений допустимого времени полета $T_{\text{доп}}$ приведены на рис. 1. Там же для каждого варианта маршрута указано время полета T по этому маршруту.

Координаты точек для включения в маршрут

Координаты	Номер точки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x	29000	27000	16000	8000	1000	13000	5000	1000	16000	21000
y	19000	5000	27000	2000	23000	23000	15000	14000	21000	29000

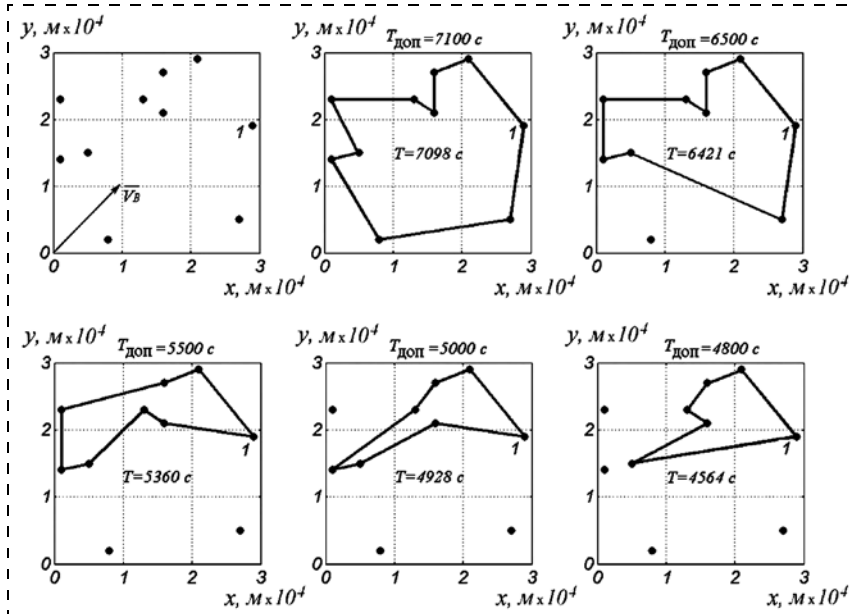


Рис. 1. Результаты решения основной задачи при различных значениях допустимой продолжительности полета

Как следует из рис. 1, при допустимом времени полета, равном 7100 с, удалось найти маршрут, который связал все заданные точки. Но уже при допустимом времени полета, равном 6500 с, ни одного маршрута, связывающего все точки, не оказалось. Одной из точек пришлось "пожертвовать". Даль-

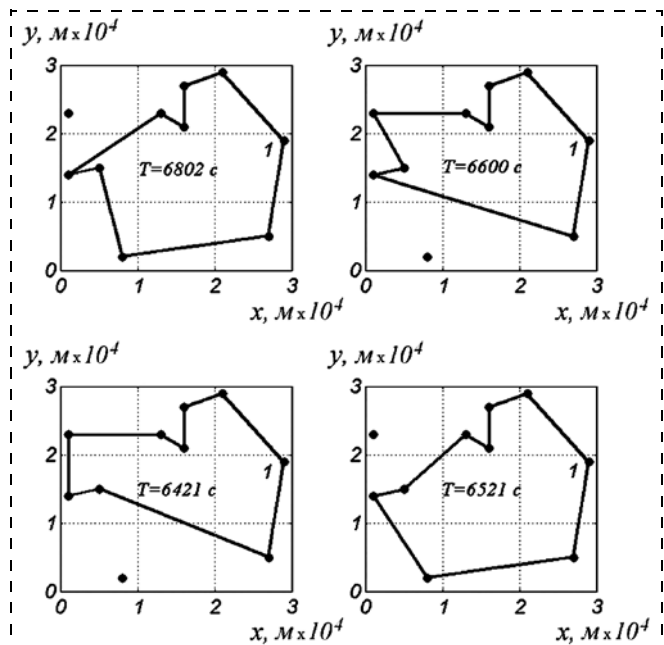


Рис. 2. Несколько маршрутов, на которых обеспечивается значение критерия $n^* = 9$, при допустимом времени полета $T_{\text{доп}} = 6900$ с

нейшее уменьшение допустимого времени полета приводит к "потере" в маршруте все большего числа точек.

Интересно отметить, что если число точек, которые удается включить в маршрут, с уменьшением допустимого времени полета постоянно уменьшается, то в общем случае не наблюдается определенной закономерности по отношению к номерам точек, исключаемых из маршрута. Это означает, что процесс выбывания точек из маршрута по мере уменьшения допустимого времени полета в общем случае не является регулярным.

Вполне естественно предположить, что основная задача маршрутизации может иметь множество решений. Действительно, применительно к рассматриваемому примеру, при допустимом времени полета, равном 6900 с, значение критерия $n^* = 9$ достигается на нескольких маршрутах (рис. 2).

При этом продолжительность полета T по каждому из этих маршрутов имеет свое конкретное значение, которое, естественно, не превышает допустимого. Общую картину влияния значения допустимого времени полета на достигаемое значение критерия можно увидеть на графике $n^*(T_{\text{доп}})$, приведенном на рис. 3.

Располагая таким графиком, построенным для конкретной целевой обстановки, значений параметров ветра и воздушной скорости БПЛА, можно без дополнительных расчетов определить максимальное число точек n^* , которое можно связать маршрутом при конкретном значении допустимой продолжительности полета. Наискорейшее время облета для каждого из возможных значений n^* отражено на рис. 3. Однако в конечном итоге при решении задачи маршрутизации интерес представляет только один маршрут из множества маршрутов, обеспечивающих экстремум основной задачи маршрути-

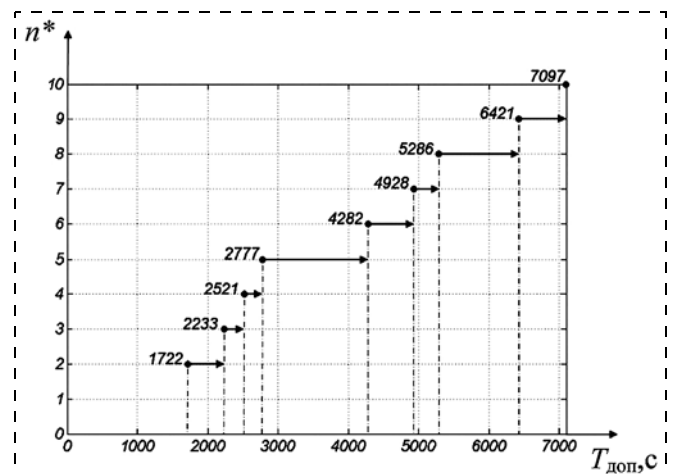


Рис. 3. Зависимость величины достигаемого критерия в основной задаче маршрутизации от допустимой продолжительности полета

зации. Это наискорейший маршрут из этого множества. Для определения этого маршрута не требуется знать все множество маршрутов, являющихся решением основной задачи маршрутизации. Искомый маршрут можно определить в результате решения вспомогательной задачи маршрутизации, используя значение n^* , найденное при решении основной задачи.

Математическая постановка вспомогательной задачи маршрутизации

Вспомогательная задача маршрутизации представляет собой задачу поиска маршрута наискорейшего облета n^* точек из n заданных. В качестве критерия для этой задачи выступает время полета, которое следует минимизировать:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} t_{ij} \rightarrow \min (i \neq j). \quad (8)$$

Искомое множество переменных $x_{ij} \in \{0, 1\}$, $(i, j = \overline{1, n}; i \neq j)$ должно удовлетворять ограничениям

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} = n^* (i \neq j); \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq 1 (j = \overline{1, n}; j \neq s); \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq 1 (i = \overline{1, n}; i \neq s); \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{is} = 1 (i \neq s); \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{sj} = 1 (j \neq s); \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} - \sum_{i=1}^n x_{ji} = 0 (j = \overline{1, n}; j \neq s). \quad (14)$$

Ограничение (9) обеспечивает включение в маршрут ровно n^* точек. Смысл ограничений (10)–(14) аналогичен соответствующим ограничениям (3)–(7).

Результаты решения задачи маршрутизации

Процедура решения вспомогательной задачи аналогична процедуре решения основной задачи маршрутизации. Устранение подциклов при решении вспомогательной задачи осуществляется так же, как и в основной задаче маршрутизации. Маршрут, найденный в результате решения вспомогательной задачи, является одновременно искомым решением задачи оптимальной маршрутизации с учетом ограничения на время полета. На рис. 4 показан оптимальный маршрут для допустимого времени полета, равного 6900 с. При этом маршрутом удастся связать девять точек. На рис. 5 показан оптимальный маршрут для допустимого времени полета, равного 4900 с. В этом случае маршрут связывает только шесть точек.

Все расчеты, на которые имеются ссылки в статье, были выполнены на компьютере с процессором Intel(R) i3-4160 CPU @ 3.60GHz и оперативной памятью 4,00 Гбайт с помощью программ, написанных на встроенном языке среды MATLAB. Ис-

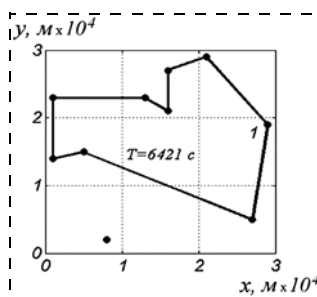


Рис. 4. Оптимальный маршрут для $T_{\text{доп}} = 6900$ с

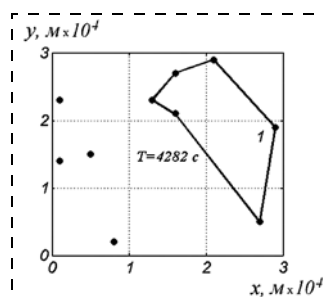


Рис. 5. Оптимальный маршрут для $T_{\text{доп}} = 4900$ с

пользовалось также стандартное программное обеспечение MATLAB, в частности программа bintprog. Время расчетов оказалось весьма незначительным. Более подробную информацию об этом можно найти в работе [7].

Заключение

1. Предложена методика нахождения замкнутого маршрута полета легкого БПЛА, который связывает максимальное число равноценных точек, находящихся в поле постоянного ветра, с учетом ограничения на время полета, причем полученный маршрут является наискорейшим из всех маршрутов, связывающих это число точек.

2. Методика предусматривает последовательное решение специальным образом сформированных основной и вспомогательной задач маршрутизации, которые связаны между собой и в математическом плане представляют собой задачи линейного булевого программирования. Таким образом, маршрут полета находится в два этапа. На первом определяется максимальное число точек, соединяемых маршрутами, время полета по которым не превышает допустимое. На втором этапе среди этих маршрутов определяется наискорейший.

3. Полученные результаты можно использовать на этапе проектирования БПЛА для моделирования его применения и оценки целевой эффективности, а также при создании специализированного алгоритмического и программного обеспечения рабочих мест операторов управления БПЛА.

Список литературы

1. Гимадеев Р. Г., Моисеев В. С. Выбор оптимального маршрута облета беспилотным летательным аппаратом заданной совокупности районов выполнения полетных заданий // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. 2014. № 3. С. 208–212.
2. Лебедев Г. Н., Ефимов А. В., Мирзоян Л. А. Метод маршрутизации облета неподвижных объектов при мониторинге наземной обстановки на основе динамического программирования // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 1. С. 63–70.
3. Nicola Ceccarelli, John J. Enright, Emilio Frazzoli, Steven J. Rasmussen and Corey J. Schumacher. Micro UAV Path Planning for Reconnaissance in Wind. Proceedings of the 2007 American Control Conference. New York City, USA, July 11–13, 2007.
4. Тагмамдзе Р. Ч., Моисеев Д. В., Фам С. К. О рациональном выборе замкнутого маршрута полета легкого летательного аппарата с учетом прогноза ветра // Вестник ФГУП НПО им. С. А. Лавожкина. 2012. № 3. С. 76–83.
5. Моисеев Д. В. Существование и построение областей постоянства замкнутых маршрутов наискорейшего облета заданного набора точек в поле постоянного ветра // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 4. С. 96–100.

6. Подлипан П. Е., Максимов Н. А. Многофазный алгоритм решения задачи планирования полета группы беспилотных летательных аппаратов // Электронный журнал "Труды МАИ", 2011. Выпуск № 43. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=24769>
7. Моисеев Д. В., Чинь В. М., Мозолев Л. А., Моисеева С. Г., Фам С. К. Маршрутизация полета легкого беспилотного летательного аппарата в поле постоянного ветра на основе решения разновидностей задачи коммивояжера // Электронный журнал "Труды МАИ", 2015, № 79. <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=55782>
8. Moiseev Dmitry Victorovich, Pham Xuan Quyen, Trinh Van Minh. Setting optimal closed flight route of lightweight unmanned

- aerial vehicles with consideration of wind in flight area. Vietnam National University Ho Chi Minh City, Science and technology development journal, Vol. 17, No. K3-2014, с. 99—108.
9. Козлов М. В., Костюк Ф. В., Сорокин С. В., Тюленев А. В. Решение задачи коммивояжера методом целочисленного линейного программирования с последовательным исключением подциклов: описание и алгоритмическая реализация // Advanced Science. 2012. № 2. с. 124—141.
10. Козлов М. В., Костюк Ф. В., Сорокин С. В., Тюленев А. В. Решение задачи коммивояжера методом целочисленного линейного программирования с последовательным исключением подциклов: обоснование, тестовые испытания, применение // Advanced Science. 2012. № 2. с. 142—159.

Routing of a Light Unmanned Aerial Vehicle in a Constant Wind Field with Account of Constraint on the Flight Duration

D. V. Moiseev, moiseev801@mail.ru✉, V. M. Trinh, trinhminh6666@gmail.com,
Moscow Aviation Institute (National Research University), 125993, Moscow, Russian Federation

Corresponding author: Moiseev Dmitry V., Associate Professor,
Moscow Aviation Institute (National Research University),
125993, Moscow, Russian, moiseev801@mail.ru

Received on 02, November, 2015

Accepted on 12, November, 2015

Recently, some articles have appeared which discuss the problem of preflight routing for the unmanned aerial vehicles (UAV). The importance of the problem is determined by the fact that its solving is necessary for flight planning and modeling of UAV with a view of an effective assessment of its mission. The above mentioned papers view routing as a sequence of flights over the setpoints with certain positioning data. The notion of route optimality is associated with, on the one hand, increasing amount of the setpoints included into the route and, on the other hand, with a decrease of the period of time for an en-route flight. In this case, consideration of the problem of routing with a constraint for the en-route flight time is of practical relevance. Thus, it is the amount of the setpoints potentially set by the route that must serve as a maximal criterion. It is quite clear that such statement may result in a situation, when some selected setpoints are out of the optimal route. The paper describes the methods of finding a light UAV circle trip which links the maximum of the equivalent setpoints in a constant wind field taking into account the time constraint. The selected route is the fastest of all the routes linking the setpoints. The methods envisage consecutive solving of the purposely set central and sub-related routing problems. Mathematically, they are the problems of linear Boolean programming. Thus, a flight route can be divided in two stages. At the first stage, it is necessary to define the maximum of the setpoints linked by the routes with the flight time, which does not exceed the one, which is allowed. At the second stage, one should define the fastest of the first stage routes. An example was introduced explaining the details and showing the performance capacity of the present flight routing procedure. The results can be used at the planning stage for modeling of UAV application with a view to improve assessment of its mission effectiveness, as well as for designing of special algorithms and software for the UAV controllers' working area.

Keywords: unmanned aerial vehicles, Boolean linear programming problem, problem of preflight routing, constraint on en-route flight duration, flight routing procedure, constant wind field

For citation:

Moiseev D. V., Trinh V. M. Routing of a Light Unmanned Aerial Vehicle in a Constant Wind Field with Account of Constraint on the Flight Duration, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 3, pp. 206—210.

DOI: 10.17587/mau.17.206-210

References

1. Gimadeev R. G., Moiseev V. S. *Vybor optimalnogo marshruta obleta bespilotnym letatelnyim apparatom zadannoj sovokupnosti rajonov vypolneniya poletnyh zadaniy* (Choice of optimal routes overflight UAPs are given a set of flight missions performance areas), *Vestnik KGUTU im. A. N. Tupoleva*, 2014, no. 3, pp. 208—212 (in Russian).
2. Lebedev G. N., Efimov A. V., Mirzozan L. A. *Metod marshrutizatsii obleta nepodviznykh obektov pri monitoringe nazemnoj obstanovki na osnove dinamicheskogo programmirovaniya* (Path Planning for an Aircraft Performing Observation of Static Ground Targets in Controlled Area Based on Dynamic Programming), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2012, no. 1, pp. 63—70 (in Russian).
3. Nicola Ceccarelli, John J. Enright, Emilio Frazzoli, Steven J. Rasmussen and Corey J. Schumacher. Micro UAV Path Planning for Reconnaissance in Wind, *Proceedings of the 2007 American Control Conference*, New York City, USA, July 11-13, 2007.
4. Targamadze R. Ch., Moiseev D. V., Fam S. K. *O racionalnom vybere zamknutogo marshruta poleta legkogo letatel'nogo apparata s uchetom prognoza vetra* (Rational choice of loop flight route for a lightweight aircraft subject to the wind forecast), *Vestnik FGUP NPO im. S. A. Lavochkina*, 2012, no. 3, pp. 76—83 (in Russian).
5. Moiseev D. V. *Sushhestvovanie i postroenie oblastey postojanstva zamknutykh marshrutov naiskorejshego obleta zadannogo nabora toчек v pole postojannogo vetra* (Existence and construction areas of constant fastest closed flight-arounds the set points), *Nauchno-Tekhnicheskij Vestnik Povolzhja*, 2015, no. 4, pp. 96—100 (in Russian).
6. Podlipjan P. E., Maksimov N. A. *Mnogofaznyj algoritim resheniya zadachi planirovaniya poleta gruppy bespilotnykh letatelnykh apparatov* (Multi-phase algorithm for solving the problem of planning the flight of unmanned aerial vehicles), *Elektronnyj Zhurnal "Trudy MAI"*, 2011, iss., no. 43, available at <https://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=24769> (in Russian).
7. Moiseev D. V., Trinh V. M., Mozolev L. A., Moiseeva S. G., Fam S. K. *Marshrutizatsiya poleta legkogo bespilotnogo letatel'nogo apparata v pole postojannogo vetra na osnove resheniya raznovidnostej zadachi kommivojazhera* (Flight routing of lightweight unmanned aerial vehicle in the constant wind on the basis of the decision of species of the traveling salesman problem), *Elektronnyj Zhurnal "Trudy MAI"*, 2015, no. 79, available at <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=55782> (in Russian).
8. Moiseev Dmitry Victorovich, Pham Xuan Quyen, Trinh Van Minh. Setting optimal closed flight route of lightweight unmanned aerial vehicles with consideration of wind in flight area, *Vietnam National University Ho Chi Minh City, Science and technology development journal*, vol 17, no. K3 — 2014, pp. 99—108.
9. Kozlov M. V., Kostjuk F. V., Sorokin S. V., Tjulenev A. V. *Reshenie zadachi kommivojazhera metodom celochislennogo linejnogo programmirovaniya s posledovatelnyim iskljucheniem podciklov: opisaniye i algoritmicheskaja realizatsija* (Solving travelling salesman problem by integer linear programming with cumulative subtour elimination: description and implementation), *Advanced Science*, 2012, no. 2, pp. 124—141 (in Russian).
10. Kozlov M. V., Kostjuk F. V., Sorokin S. V., Tjulenev A. V. *Reshenie zadachi kommivojazhera metodom celochislennogo linejnogo programmirovaniya s posledovatelnyim iskljucheniem podciklov: obosnovanie, testovyye ispytaniya, primenenie* (Solving travelling salesman problem by integer linear programming with cumulative subtour elimination: substantiation, testing, application), *Advanced Science*, 2012, no. 2, pp. 142—159.