

УДК 004.023

Д.А. Пархоменко

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Украина

МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАРШРУТА ПОЛЕТА ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ УДАРНОЙ АВИАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ, СОДЕРЖАЩЕМ ОГРАНИЧЕННЫЕ ДЛЯ ПОЛЕТА ЗОНЫ

Предложен метод автоматизированного решения задачи определения маршрута полета к цели ударной авиации. Предложен подход к формализации зон запрещенных для пролета и зон имеющих ограничения для полета. Для решения задачи автоматизации определения маршрута движения воздушных объектов предлагается использовать математический аппарат теории графов. Использование данного метода возможно при разработке средств автоматизации определения маршрута в перспективных комплексах средств автоматизации пунктов управления авиацией.

Ключевые слова: управление полетом, определение маршрута, маршрут, управление воздушным движением, алгоритм Дейкстры.

Введение

Постановка проблемы. Современные тенденции вооруженной борьбы, которые формируют характер военных действий, требуют дальнейшего качественного развития возможностей комплекса средств автоматизации пунктов управления авиацией [1].

Одной из таких возможностей является автоматизация определения маршрута полета к цели ударной авиации в реальном масштабе времени, что является актуальной научной задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. Методы автоматизированного определения маршрутов в современных комплексах средств автоматизации пунктов управления авиацией не реализованы.

В настоящее время задача построения опорной траектории, как правило, выполняется на основе известной цифровой карты рельефа местности с использованием различных подходов: от ручного определения оператором (штурманом) контрольных точек маршрута до широкого спектра математических подходов. Это и использование различных переборных методов, методов теории дифференциальных игр, градиентных методов, нейронных сетей и генетических алгоритмов, а также положений теории гидродинамики [2-7].

Указанные подходы для решения задачи ограничены в своих возможностях. Это определяет необходимость и актуальность решения задачи прокладки маршрутов для ударной авиации в процессе планирования ударов по наземным целям.

Цель статьи: разработка метода автоматизации определения рационального маршрута полета ударной авиации к цели в пространстве, содержащем ограниченные для полета зоны, в условиях дефицита времени.

Изложение основного материала исследования

Известно, маршрут полета выбирается с учетом действий вооруженных сил противоборствующих сторон, установленного коридора пролета линии фронта, рельефа местности. При полете к цели следует обходить районы, прикрытые зенитными ракетными комплексами, а также зенитной артиллерией. Кроме того, маршрут, выбранный для полета к цели, должен обеспечить надежное и точное самолетовождение в условиях противодействия со стороны противника, а также досягаемость цели для ударной авиации в различных условиях [8].

Определим пространство поиска маршрута, которое будет ограничено: по дальности – тактическим радиусом действия самолета, по ширине – установленным коридором пролета линии фронта, по высоте – практическим потолком полета самолета [9].

Размер элемента пространства и количество дискретных курсов полета будут связаны с возможностью достижения соседнего элемента пространства с заданным курсом и будут зависеть от курса летательного аппарата, с которым он влетел в соседний элемент, и его минимального радиуса разворота с допустимой перегрузкой.

Возможным подходом будет выбрать длину и ширину элемента равными минимальному радиусу разворота с допустимой перегрузкой летательного аппарата и восемь различных курсов. Тогда из каждого элемента могут быть достигнуты девять соседних фронтальных по курсу элементов с возможным поворотом на 90 и 45 градусов, а также возможным снижением или набором высоты.

Пространство поиска пути охарактеризуем одномерным массивом G . Размер G равен количеству элементов пространства. Значение, которое может принимать элемент массива: бесконечно

большое число – для элементов пространства, запрещенных для пролета, штраф (число больше 1) – для элементов, не желательных для пролета (зоны ЗРВ, РТВ), 1 – для остальных элементов пространства. Каждый штраф отражает степень опасности элемента пространства. Выбор размера штрафа определит степень риска рассчитанного маршрута. Если штраф немногим больше 1 – основной вклад в решение вносит расход топлива. Если штраф больше 2 – основной вклад в решение вносит безопасность полета. Возможным подходом к описанию зон действия средств ЗРВ и РТВ будет представить их тремя слоями элементов, с одинаковым штрафом: элементы внутри зоны гарантированного поражения (обнаружения), элементы лежащие на границе зоны и элементы удаленные от границы на шаг дискретизации.

Таким образом, полет летательного аппарата можно описать при помощи взвешенного ориентированного графа $GR(V,E)$. Где V – множество вершин графа, количество вершин графа равно количеству элементов пространства поиска умноженному на количество дискретных направлений полета. Каждая вершина соответствует элементу пространства поиска, достигнутому с определенным курсом. E – множество ребер графа, из каждой вершины исходят ориентированные ребра, соединяющие ее со смежными вершинами, которые соответствуют девяти соседним фронтальным по курсу элементам с поворотами на 90 и 45 градусов, не выходящими за пространство поиска маршрута. Вес ребра равен количеству топлива необходимому для достижения соседнего элемента с выбранным курсом умноженному на соответствующий штрафной коэффициент из массива G . Задача поиска опорной траектории сводится к поиску кратчайшего пути между двумя узлами графа $GR(V,E)$.

Поскольку взвешенный ориентированный граф GR не имеет дуг отрицательного веса, найти кратчайшие пути от некоторой вершины графа GR до всех остальных вершин этого графа можно воспользоваться алгоритмом Дейкстры [10].

Однако принимая во внимание то, что количество ребер значительно меньше количества вершин, а также то, что вершины и ребра соответствующие элементу пространства аналогичны другим элементам (исключая элементы на границе пространства поиска), расчеты можно значительно упростить:

1. Уменьшим пространственную сложность алгоритма, отказавшись от массива смежности графа. Веса ветвей будут рассчитываться по мере необходимости исходя из курса достижения соседней вершины и расхода топлива, зависящего от высоты полета и ее изменения, умноженному на соответствующий штрафной коэффициент из массива G .

2. При использовании в алгоритме двоичных куч асимптотическая сложность не будет зависеть

от количества ветвей и составит $O(n \cdot \log(n))$, где n – количество элементов.

На рис. 1 представлена схема метода решения задачи автоматизации процесса выбора маршрута полета к цели ударной авиации.

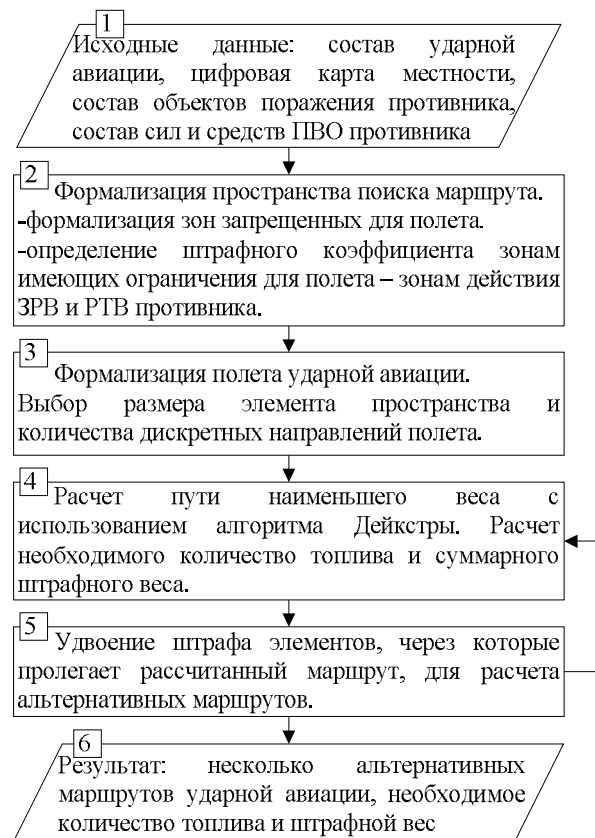


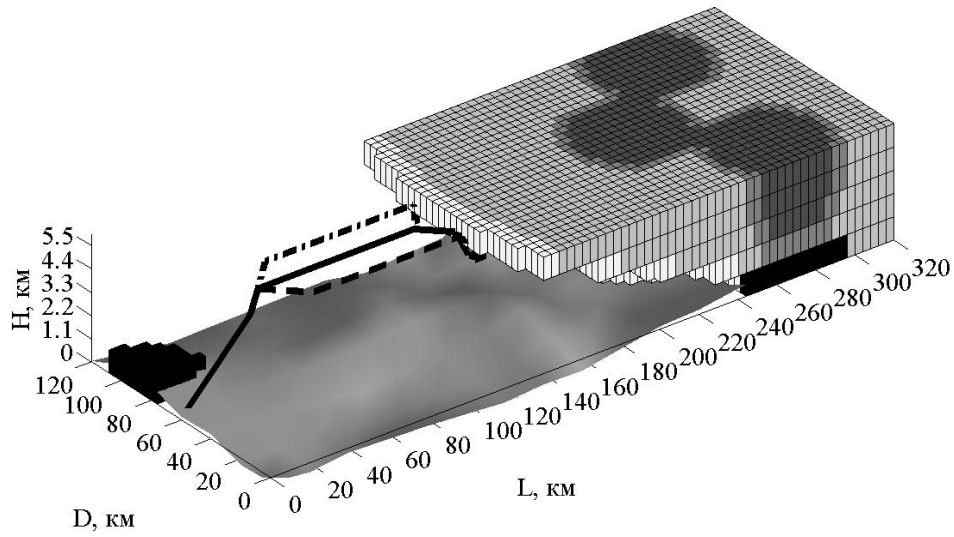
Рис. 1. Схема метода решения задачи автоматизации выбора маршрута полета к цели ударной авиации

Рис. 2 – 4 иллюстрирует результаты расчета маршрута полета к цели фронтового бомбардировщика Су-24 в пространстве, содержащем ограниченные для полета зоны: зону обнаружения РЛС 22Ж6 "Десна" и трех зон поражения ЗРК Бук. Для решения были выбраны штрафные коэффициенты:

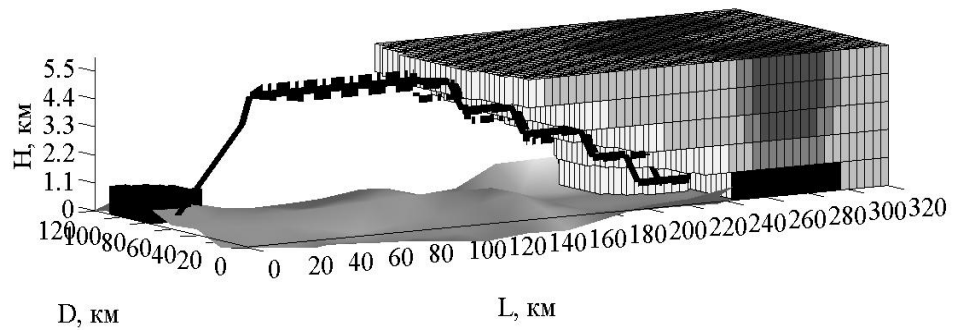
- для слоев зоны обнаружения РЛС 1, 4 и 6;
- для слоев зон поражения ЗРК 1.5, 10 и 20.

Выводы

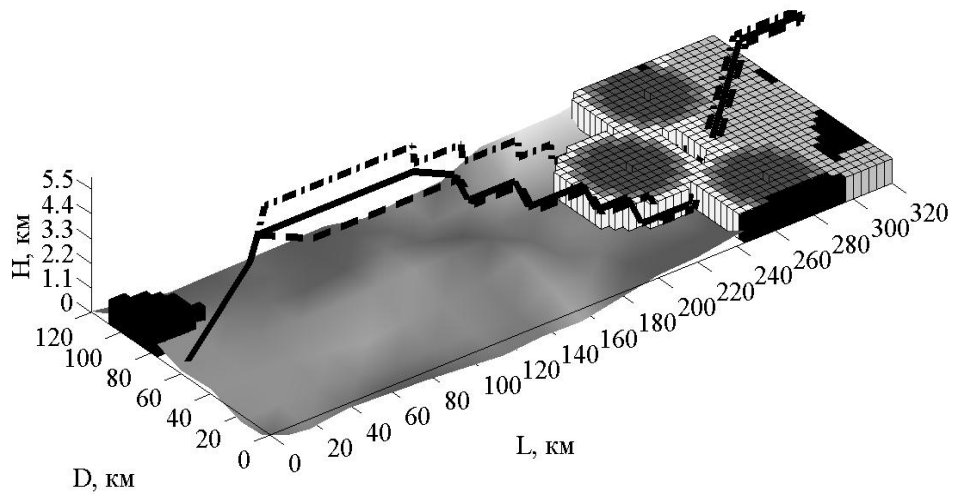
Рассмотрена проблема автоматизации определения маршрута полета к цели ударной авиации. Предложен подход к формальному описанию движения ударной авиации к цели, формализации зон запрещенных для пролета и зон имеющих ограничения для полета – зон действия ЗРВ и РТВ противника. Для решения задачи автоматизации определения маршрута движения воздушных объектов предлагается использовать математический аппарат теории графов. Предложенный метод возможно использовать при разработке средств автоматизации определения маршрута в перспективных комплексах средств автоматизации пунктов управления авиацией.



а



б



в

Рис. 2. Маршруты полета при наличии зон, запрещенных для полетов:
а, б – трехмерный вид, в – трехмерный вид с запрещенными зонами только первого слоя

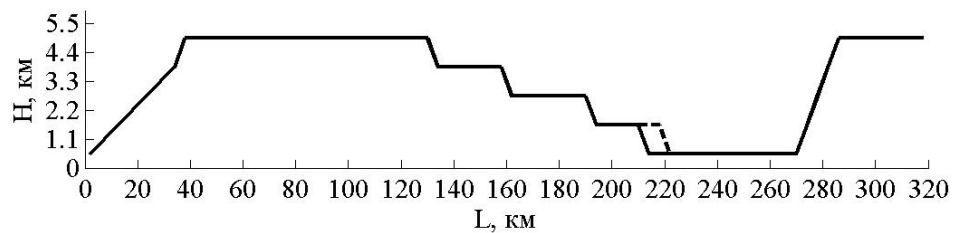


Рис. 3. Вертикальный профиль полета

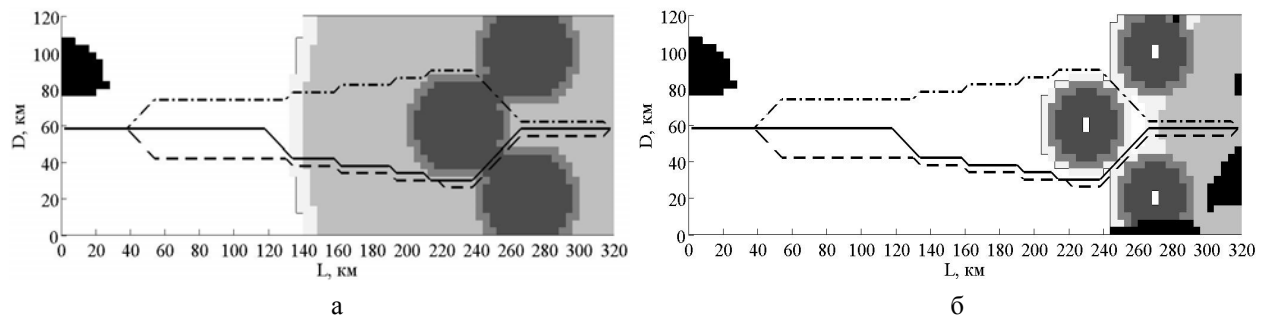


Рис. 4. Горизонтальний профіль польота

а – с заперешеними зонами всіх шарів, б – с заперешеними зонами тільки першого шару

Перспективним напрямком дальніших досліджень буде формалізація різних видів зон існуючих обмеження для польота. Це дозволить задавати складні конфігурації простору з різними властивостями, в яких необхідно виробити пошук рішення, що підвищить якість опису умов в яких здійснюється пошук рішень.

Список литературы

1. Гурулев С.П. Взгляды на развитие вооруженной борьбы, способы решения задач военной безопасности государства [Текст] / С.П. Гурулев // Армия. – 2008. – №3. – С. 5–8.
2. Control of Aircraft Landing in Windshear [Текст] / S. Patsko, N.D. Botkin, V.I. Turova, M.A. Zarku // Journal of Optimization Theory and Applications. – Nov 1994. – Vol. 83.
3. Брюсов С.В. Метод оптимизации пространственной траектории полета в режиме огибания рельефа местности [Текст] / С.В. Брюсов // Авиакосмическое приборостроение. – 2006. – №2. – С. 47-50.
4. Никифорова Л.Н. Маловысотный полет вертолета и проблемы его автоматизации [Текст] / Л.Н. Никифорова, К.С.Яковлев // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2009. – №3. – С. 42-48.
5. Кирсанов А.П. Способ траекторного управления летательным аппаратом в горизонтальной плоскости при облете им неподвижной опасной зоны [Текст] / А.П. Кирсанов, Д.Н. Сузанский // Радиотехника. – 2013. – №1. – С. 73-76.

6. Ларкин Е.В. Метод трассировки движения мобильного робота по построению рельефа [Текст] / Е.В. Ларкин, Ву Зуи Нехуа // Журн. Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – Вып. 7-2. – С. 136–140.

7. Леценко С.П. Методика расчета оптимальной траектории пролета воздушных объектов по критерию минимума вероятности обнаружения [Текст] / С.П. Леценко, М.П. Батурицкий, Д.Ю. Свистунов // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2005. – Вып. 2 (42). – С. 103-110.

8. Борсук А. Ф. Развитие тактики родов фронтовой авиации в годы Великой Отечественной войны, значение опыта войны для современности [Текст] / А. Ф. Борсук // Роль Военно-воздушных Сил в Великой Отечественной войне 1941–1945: материалы IX военно-научной конференции ВВС. – М., 1986. – 448 с.

9. Павленко М.А. Метод решения задачи автоматизации процесса выбора маршрута полета ударной авиации [Текст] / М.А. Павленко, Д.А. Пархоменко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2014. – № 2 (15). – С. 71–74.

10. Алгоритмы: построение и анализ, 3-е изд. [Текст] / Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн — М.: Вильямс, 2013. – 1328 с.

Поступила в редколлегию 28.08.2015

Рецензент: д-р техн. наук ст. научн. сотр. Е.А. Украинец, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ МАРШРУТУ ПОЛЬОТУ ПІДРОЗДІЛУ УДАРНОЇ АВІАЦІЇ В ПРОСТОРІ, ЩО МІСТИТЬ ОБМЕЖЕНІ ДЛЯ ПОЛЬОТУ ЗОНИ

Д.О. Пархоменко

Запропоновано метод автоматизованого рішення задачі визначення маршруту польоту до мети ударної авіації. Запропоновано підхід до формалізації зон заборонених для польоту і зон мають обмеження для польоту. Для вирішення завдання автоматизації визначення маршруту руху повітряних об'єктів пропонується використовувати математичний апарат теорії графів. Використання даного методу можливо при розробці засобів автоматизації визначення маршруту в перспективних комплексах засобів автоматизації пунктів управління авіацією.

Ключові слова: управління польотом, визначення маршруту, маршрут, управління повітряним рухом, алгоритм Дейкстри.

METHOD AUTOMATED OF SOLVING THE PROBLEM OF DETERMINING THE FLIGHT PATH OF STRIKE AIRCRAFT UNIT IN THE SPACE CONTAINING THE LIMITED-FLY ZONE

D.A. Parkhomenko

A method for automated solution of the problem determine the route of flight to the target of strike aircraft. An approach to formalization of prohibited zones and areas with flight restrictions for the flight. To solve the problem of automation determine the route air traffic facilities are encouraged to use the mathematical apparatus of graph theory. Using this method it is possible in the design automation tools in determining the route of perspective complexes of automation of command and control aircraft.

Keywords: flight control, the definition of the route, the route, air traffic control, Dijkstra's algorithm.