

БОРТОВАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ⁹³

Кулида Е.Л.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65
lenak@ipu.ru*

Аннотация: Представлены модели и алгоритмы бортовой системы поддержки децентрализованного управления воздушным движением, предназначенной для помощи пилотам в получении точных и эффективных рекомендаций для обеспечения безопасности полетов и децентрализованной координации действий всех воздушных судов по планированию посадок.

Ключевые слова: концепция «свободный полет», алгоритмы обнаружения и разрешения конфликтов, планирование посадки самолетов, распределенная координация действий.

Введение

Для расширения транспортных возможностей и реализации увеличивающегося объема авиаперевозок необходимо внедрение передовых технологий в систему управления воздушным движением (УВД). В настоящее время для достижения этой цели ведется работа по двум основным направлениям исследований. Одна из основных задач заключается в разработке инструментов для улучшения работы существующей системы УВД. Более долгосрочные исследования направлены на разработку методов децентрализованного УВД.

Перспективная концепция УВД «свободный полет» [1] предоставит экипажам воздушных судов (ВС) и авиакомпаниям большую свободу в выборе траекторий движения, что позволит снизить

⁹³ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-08-00822) и Программы I.30 Президиума РАН.

расход топлива и сократить время полета. Одной из основных проблем при введении «свободных полетов» является возможность чрезмерной перегрузки авиадиспетчеров, поскольку существующая система фиксированных маршрутов ограничивает возможность конфликтов, обеспечивая при этом когнитивную поддержку диспетчерам в их обнаружении. Выход может заключаться в автоматизации УВД с помощью бортовой системы поддержки децентрализованного УВД, при котором летные экипажи примут на себя ответственность за обеспечение безопасности полетов и планирования посадок.

В настоящее время концепция «свободный полет» далека от своего практического осуществления. Для ее реализации необходимо улучшить бортовую систему, чтобы помочь пилотам получать точные и эффективные рекомендации для обеспечения безопасности полетов.

Перспективная бортовая система поддержки децентрализованного УВД, с помощью бортовых устройств ADS-B имеющая доступ к информации о текущем местоположении и направлении движения каждого из окружающих ВС, должна решать следующие основные задачи:

- обнаружение и предотвращение конфликтных ситуаций в воздушном пространстве;
- планирование посадок ВС в автоматическом режиме;
- децентрализованная координация действий всех ВС;
- отображение информации о параметрах полета и состоянии ВС в удобной для экипажа форме.

1 Алгоритмы обнаружения и разрешения конфликтов

Системы обнаружения и разрешения конфликтов сложны и существует множество возможных конструктивных решений. В [2] представлен обзор 68 моделей обнаружения и разрешения конфликтов.

Различия между моделями относятся к следующим шести основным категориям:

- 1) типы разрешаемых конфликтов (горизонтальные, вертикальные или трехмерные);
- 2) метод прогнозирования динамического состояния (номинальный, наихудший, вероятностный, совместное использование планов траекторий);
- 3) порог для решения об обнаружении конфликта;
- 4) метод разрешения конфликтов (предписанный, оптимизированный, искусственного потенциального поля, ручной);
- 5) способы разрешения конфликтов (изменение скорости, боковые, вертикальные или комбинированные маневры);
- 6) управление несколькими конфликтами ВС (попарно или глобально).

Фаза разрешения конфликта требует собственного набора оценок текущего состояния, моделей траектории маневра разрешения конфликта и критериев принятия решения, которые могут отличаться от тех, которые используются на этапе обнаружения конфликтов.

В [3] представлен алгоритм, применимый для нескольких сценариев угроз, включая как воздушные, так и наземные угрозы. Полученное решение объединяет рекомендации как системы предупреждения столкновения самолётов в воздухе TCAS (Traffic alert and Collision Avoidance System), так и системы предупреждения столкновения с землёй TAWS (Terrain Awareness and Warning System). Представленное моделирование демонстрирует, что алгоритм дает надежные результаты как для ручного, так и для автономного режимов навигации.

2 Модель и алгоритмы планирования посадки самолетов

2.1 Построение траекторий подлета к зоне ожидания

При введении концепции «свободный полет» возникнет необходимость пополнить бортовую систему функцией построения траектории подлета к зоне ожидания из произвольной точки, в том числе, в гористой местности. Решению этой задачи посвящен ряд работ.

Разработан алгоритм построения кратчайших бесконфликтных траекторий подлета в зону ожидания из произвольной точки в условиях сложного рельефа местности с учетом ограничений маневренных возможностей ВС и ограничений на траекторию ВС [4].

Разработан алгоритм управления скоростью вдоль построенных траекторий с целью выдерживания необходимых норм эшелонирования между ВС [5].

Разработан алгоритм генерации траектории заданной длины при маневрировании в районе со сложным рельефом местности для случая, когда выдерживание необходимых норм эшелонирования между ВС с помощью управления скоростью на кратчайшей траектории невозможно в силу ограничений на скорость и ускорение [6].

Для отработки разработанных методов и алгоритмов, а также проведения имитационного моделирования разработан макет программного обеспечения системы обеспечения траекторной

безопасности полетов [7]. Оценка реализуемости и безопасности траекторий и их ранжирование реализуется на основе виртуальных полетов вдоль сгенерированных траекторий с рассчитанными скоростями с использованием бортовой математической модели самолета [8].

2.2 Планирование посадки самолетов

Задача планирования посадки самолетов – это задача определения времени посадки на взлетно-посадочную полосу для каждого ВС из данного набора ВС, при этом каждое ВС должно приземляться в течение заранее определенного временного интервала, и должны соблюдаться временные интервалы между приземляющимися ВС.

Для решения задачи возможно планирование приземления в порядке поступления «первым пришел - первым обслужен». Однако некоторые перестановки в естественной последовательности (например, перестановка тяжелого ВС за легким) могут позволить существенно улучшить заданные критерии качества. Поэтому при формировании оптимальной очереди на посадку приходится отступать от стратегии «первым пришел - первым обслужен» и выбирать новый порядок в очереди на основе решения задачи оптимизации. В литературе представлены точные и приближенные методы решения этой задачи, Основные из них – это методы линейного программирования, метод ветвей и границ, эвристические и метаэвристические методы.

В [9] приводится краткий обзор в историческом разрезе методов решения задачи, начиная с самых ранних работ. Затем подробно рассматривается подход к решению поставленной задачи линейного программирования с помощью линейной релаксации и решение задачи на основе метода ветвей и границ, дополненного методом, называемым «генерацией столбцов». В [10] дается обзор предлагаемых в мировой научной литературе перспективных алгоритмов оптимизации для приближенного решения задачи построения оптимальных очередей посадок ВС на одну или несколько взлетно-посадочных полос.

3 Распределенная координация системы взаимодействия

Для реализации децентрализованной посадки ВС требуется интегрировать алгоритм планирования посадки самолетов в бортовую систему. Однако интеграция алгоритма планирования в бортовую систему может давать только статическое решение по планированию для известного набора самолетов. Для достижения динамического решения планирования посадки, когда необходимо перепланирование при изменениях в распределенной среде, в бортовую систему необходимо интегрировать модуль распределенной координации системы взаимодействия. Распределенная координация играет важнейшую роль в успехе децентрализованной операции посадки ВС.

Группа ВС может координировать свои действия посредством прямой и явной связи друг с другом, в частности, при помощи обмена сообщениями между ВС с использованием бортового оборудования ADS-B. Однако этот подход применим только для распределенного планирования посадки самолетов для простых сценариев воздушного движения с участием небольшого числа ВС, поскольку для достижения решения требуется большое число переговоров.

В системах, основанных на парадигме «публикация–подписка» реализуется промежуточное программное обеспечение, называемое службой уведомлений, которое является логическим посредником между издателями и подписчиками. Это позволяет избежать необходимости для каждого издателя знать каждого возможного подписчика. И издатели, и подписчики общаются только при помощи службы уведомлений. Издатель публикует данные в службе уведомлений, не заботясь о наличии подписчиков, нуждающихся в этих данных. Подписчики подписываются на данные в службе уведомлений. При наличии публикаций данные начинают поступать подписчикам.

В [11] анализируется возможность децентрализованного планирования посадки ВС на одну взлетно-посадочную полосу в неконтролируемом аэропорту, где не предоставляется диспетчерское обслуживание, на основе распределенной координации действий.

Литература

1. Марьин Н.П. Перспектива внедрения концепции "свободный полет" // Проблемы безопасности полетов. 2009, № 5. С. 42-55.
2. Kuchar J.K., Yang, L.C. A Review of Conflict Detection and Resolution Modeling Methods // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 1. 2000, № 4. – P. 179-189.
3. Melega M., Lazarus S., Savvaris A., Tsourdos A. Multiple Threats Sense and Avoid Algorithm for Static and Dynamic Obstacles // J Intell Robot Syst. 2015, 77. – P. 215-228.
4. Кулида Е.Л. Формирование безопасных траекторий полета на малых высотах в условиях сложного рельефа местности // Материалы Пятой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD'2011. – Москва: ИПУ РАН, 2011. – С. 143-152.

5. *Баженов С.Г., Егоров Н.А., Кулида Е.Л., Лебедев В.Г.* Управление траекторией и скоростью самолета при заходе на посадку в условиях пересеченной местности // Проблемы управления. – 2015, № 2. – С. 45-51.
6. *Кулида Е.Л., Лебедев В.Г.* Генерация траекторий заданной длины при предпосадочном маневрировании воздушного судна в условиях сложного рельефа местности // Проблемы управления. – 2017, № 4. – С. 59-64.
7. *Алешин Б.С., Баженов С.Г., Лебедев В.Г., Кулида Е.Л.* Прототип системы обеспечения траекторной безопасности полета // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2014. - Москва: ИПУ РАН, 2014. – С. 3351–3361.
8. *Алешин Б.С., Баженов С.Г., Лебедев В.Г., Кулида Е.Л.* Использование бортовой математической модели для оценки реализуемости и безопасности траекторий самолета // Проблемы управления. – 2013, № 4. – С. 64-71.
9. *Вересников Г.С., Егоров Н.А., Кулида Е.Л., Лебедев В.Г.* Методы построения оптимальных очередей воздушных судов на посадку. Ч. 1. Методы точного решения // Проблемы управления. – 2018, № 4. – С. 2-13.
10. *Вересников Г.С., Егоров Н.А., Кулида Е.Л., Лебедев В.Г.* Методы построения оптимальных очередей воздушных судов на посадку. Ч. 2. Методы приближ-о решения // Проблемы управления. – 2018, № 5. – С. 2-13.
11. *Ding Y.* Decentralized Aircraft Landing Scheduling at Single Runway Non-Controlled Airports. – Doctoral dissertation, Texas A&M University, 2007.