

УДК 519.517

## ПОСТРОЕНИЕ ПЛОСКИХ МАНЕВРОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

© 2011 г.

*В.К. Исаев*<sup>1,2</sup>, *В.В. Золотухин*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт, Москва

<sup>2</sup>Центральный аэрогидродинамический институт им. Н.Е. Жуковского (ЦАГИ), г. Жуковский

visae@mail.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Рассматривается плоская многоагентная задача маневрирования воздушного судна (ВС) с целью обеспечения движения ВС с минимальным временным отклонением при условии предотвращения конфликтов трех видов: возможных столкновений, опасных сближений и попаданий в вихревой след других ВС-агентов [1]. Временное отклонение рассчитывается как разность между фактическим временем и временем, которое понадобилось бы ВС при движении по своему начальному маршруту в отсутствии других ВС.

*Ключевые слова:* управление воздушным движением, воздушное судно, вихревая безопасность воздушных судов, многоагентные системы, концепция Free Flight.

### Введение

По мере увеличения плотности трафика возрастает роль децентрализованных алгоритмов принятия решений. Такие алгоритмы наделяют пилотов ВС не только большими возможностями управления, но и большей ответственностью за принятые решения. Необходимость учета взаимодействия между участниками воздушного движения обеспечивает менее эгоистичный характер сценариев, процессов и результатов системы организации воздушного движения (ОРВД).

### Постановка задачи

Применяется подход Satisficing Game Theory (SGT) [2], основанный на интеллектуальном управлении динамическими системами [3] с использованием независимых агентов. Подход SGT математически хорошо обоснован и предлагает не только инструментарий, с помощью которого могут проектироваться агентные системы, но и естественный механизм для совместного достижения целей. Подход SGT базируется на концепции, согласно которой агенты адаптивны и независимы (не нуждаются в централизованном контроле). Агенты получают достаточное решение, причем достаточность решения устанавливается путем сравнения значений двух функций, которые определяют преимущества и недостатки данного решения. Таким образом, у каждого ВС есть возможность учитывать желания других участников

воздушного движения при принятии собственного решения.

Задачу избегания вихрей от нескольких ВС всегда необходимо рассматривать вместе с задачей предотвращения столкновений, имеющей, очевидно, самый высокий приоритет. Решение ищется при следующих допущениях:

- между участниками воздушного движения происходит постоянный обмен полетными данными;
- каждое ВС способно обмениваться информацией с остальными участниками воздушного движения;
- каждое ВС должно поддерживать минимальное безопасное продольное и боковое расстояние с другими ВС;
- ветер считается постоянным;
- скорость ВС-генератора считается постоянной;
- отсутствуют запрещенные для полета области.

### Алгоритм избегания конфликтов

Каждое ВС  $X_i$ , выступающее в роли агента, ранжирует весь набор окружающих ВС по ряду критериев: близость к пункту назначения, задержка (чем больше задержка, тем выше приоритет), время полета (чем продолжительнее, тем выше приоритет). По результатам подсчитанных приоритетов из ВС составляется группа  $P_i$  (список приоритета) с входящими в нее ВС более вы-

сокого приоритета. В группу входят только те ВС, для которых необходимо разрешить конфликтную ситуацию с рассматриваемым бортом. Направление движения ВС, которое должно быть определено к окончанию очередного временного интервала, зависит от предпочтений всех ВС указанной группы.

На основании полученной летной информации каждый борт рассчитывает функции недостатка  $p_{R_i}$  и преимущества  $p_{S_i}$  для каждого альтернативного направления движения  $u_i^i$  [2], затем выбирает направление  $u_i^{i*} \in U$ , на котором разница между значениями функций преимущества и риска максимальна:

$$u_i^{i*} = \arg \max_{u_i^i} (p_{S_i}(u_i^i) - p_{R_i}(u_i^i)).$$

### Выводы

Для трех рассматриваемых видов конфликтных ситуаций (столкновения, опасные сближения, попадания в вихревые следы) предложена техника построения функций преимущества и риска, учитывающая характерные для конфликта определенного вида факторы.

Так как на выбор будущей траектории ВС-генератора может оказывать влияние другие ВС (или их вихревые следы), то расположение вихрей не может быть рассчитано на определенный момент времени в будущем, как в задаче уклонения от вихрей единственным ВС [2]. Следовательно, вихревая картина должна моделироваться ди-

намически, с определенным временным шагом. Чтобы ВС-последователи не вычисляли заново картину вихревого поля ВС-генератора на каждом временном шаге, целесообразно передавать им ее характеристики. При использовании агентного подхода построением вихревых областей занимается сам ВС-генератор. Восстановлением картины вихревой зоны по переданным характеристикам и уклонением от конфликта занимаются ВС-последователи. Предложен и апробирован детальный алгоритм взаимодействия ВС с целью предотвращения конфликтов всех видов. Приведены примеры разрешения конфликтов с помощью предложенного выше подхода с учетом ряда предыдущих результатов [4].

### Список литературы

1. Ярошевский В.А. и др. Влияние вихревого следа на динамику полета пассажирского самолета // Полет. 2009. Вып. ЦАГИ-90. С. 93–99.
2. Bellomi F. et al. Satisficing name theory for distributed conflict resolution and traffic optimisation: a simulation tool and experimental results // Eurocontrol Innovative Research Workshop, 2007.
3. Васильев С.Н. и др. Интеллектуальное управление динамическими системами. М.: Физматлит, 2000. 352 с.
4. Исаев В.К., Золотухин В.В. Некоторые задачи 2D-маневрирования самолета с целью обеспечения вихревой безопасности // Матер. XVI Международ. конф. по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2009), 25–31 мая 2009 г., Алушта. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2009. С. 354–356.

## CONSTRUCTION OF PLANE MANEUVERS OF AIRCRAFTS FOR AIR TRAFFIC SAFETY

*V.K. Isaev, V.V. Zolotukhin*

A plane multi-agent problem of maneuvering an aircraft to ensure [1] its minimum time deviation, avoiding three types of conflicts (possible collisions, similar convergence, vortex wakes), is considered. Time deviation is calculated as the difference between the actual time and the time it would take an airplane following its initial route in the absence of other aircrafts.

*Keywords:* air traffic management (ATM), aircraft, wake vortex safety, multi-agent systems, Free Flight.