

УДК: 65.011.56

КОНЦЕПЦИЯ АС ОрВД ПЯТИ ИЗМЕРЕНИЙ

А.А. ВЕДРОВ, А.П. ПЛЯСОВСКИХ

Предлагается концепция автоматизированной системы организации воздушного движения пяти измерений. Приведен пример практического использования концепции для решения задачи разрешения конфликтной ситуации между воздушными судами.

Ключевые слова: автоматизированная система организации воздушного движения, поддержка принятия решения, разрешение конфликтов воздушных судов.

Одной из тенденций развития современных автоматизированных систем организации воздушного движения (АС ОрВД) является развитие новейших функций поддержки принятия решения (ППР) CORA (Conflict resolution assistant), и функций «что если», «What If», которые являются разновидностью функций ППР [1, 2].

Практические потребности развития АС ОрВД и разработки этих функций АС ОрВД вызывают необходимость разработки новых концепций информационной архитектуры АС ОрВД, возможности которых отвечают практическим нуждам.

Так, например, в современных АС ОрВД, построенных по технологии «тонкий клиент», основная масса вычислений осуществляется на высокопроизводительных серверах, расположенных в отдельном помещении. Серверы связаны с рабочими местами АС ОрВД посредством «тонкого клиента» с относительно небольшой производительностью. Функции «что если» и ППР (поддержки принятия решений) требуют огромного количества вычислений (на два порядка больше, чем в сервере прогнозирования 4D-траектории, например), с одной стороны, и быстрого предоставления (с задержкой не более 5-20 миллисекунд) результатов вычислений на рабочем месте диспетчера УВД, с другой стороны. Понятно, что малопроизводительный тонкий клиент не справится с задачей огромного объема вычислений. В аэроузловых АС ОрВД имеются десятки рабочих мест АС ОрВД, на каждом из которых должны решаться задачи «что если» и ППР, при этом тонкие клиенты рабочих мест связаны с сервером сетью с ограниченной пропускной способностью. Поэтому традиционная архитектура построения АС ОрВД, основанная на технологии «тонкого клиента», обладает существенными ограничениями, которые не позволяют в полной мере реализовать функции «что если» и ППР, характеристики которых, в частности, время отклика, будут удовлетворять современным требованиям к АС ОрВД.

Для разработки перспективных АС ОрВД с функциями «что если» и ППР требуются новые конструктивные решения, новые концепции построения АС ОрВД. В данной работе предлагается концепция «АС ОрВД пяти измерений», практическая реализация которой позволит в ближайшем будущем разработать АС ОрВД с функциями «что если» и ППР.

4D-траекторией $4\zeta_i$, то есть 4-мерной траекторией i -го воздушного судна (BC_i) называется прогнозируемая траектория движения ВС, тремя измерениями (**D**imension) которой являются пространственное положение (широта φ , долгота α , высота h), а четвертым измерением – время t . 4D-траектория представляет собой множество точек четырехмерного пространства $(\varphi_i, \alpha_i, h_i, t_i) \in 4\zeta_i$.

Текущая тактическая 4D-траектория определяется на основе фактического местоположения ВС, текущего плана движения ВС и выданных диспетчером УВД команд (диспетчерских разрешений) экипажу ВС.

Введем новое понятие 5-го измерения, которое описывает бесконечное множество альтернативных сценариев развития воздушной обстановки (ВО). 5-е измерение описывает многообразие возможных сценариев развития воздушной обстановки, в котором текущие 4D-планы движения ВС являются только одной возможностью из бесконечного множества альтернативных.

5-е измерение иллюстрируется рисунком 1. На рисунке жирной линией изображена фактическая траектория ВС, рассчитанная по утверждённому диспетчером плану движения, тонкими линиями изображены возможные альтернативные траектории движения ВС. Одна из альтернативных 4D-траекторий движения станет фактической, если диспетчер и/или экипаж ВС примет решение изменить план полета.

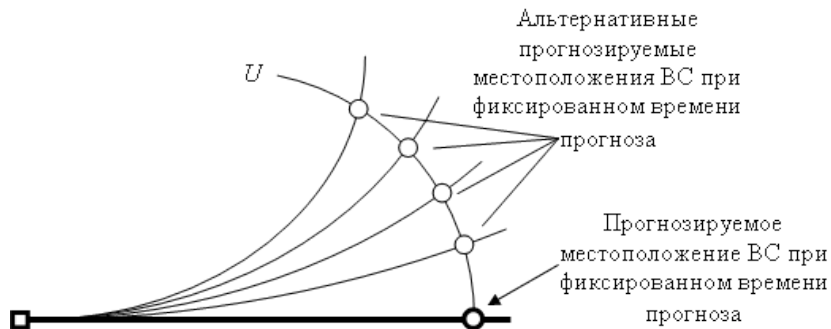


Рис. 1. 5D-траектория ВС: фактическая и множество альтернативных 4D-траекторий ВС.

На рисунке 2 представлены прогнозируемое местоположение ВС для фактической 4D-траектории ВС и альтернативные прогнозируемые местоположения ВС альтернативных 4D-траекторий при фиксированном времени прогноза. Этот рисунок иллюстрирует многообразие альтернативных возможностей развития воздушной обстановки, описываемых 5-м измерением.

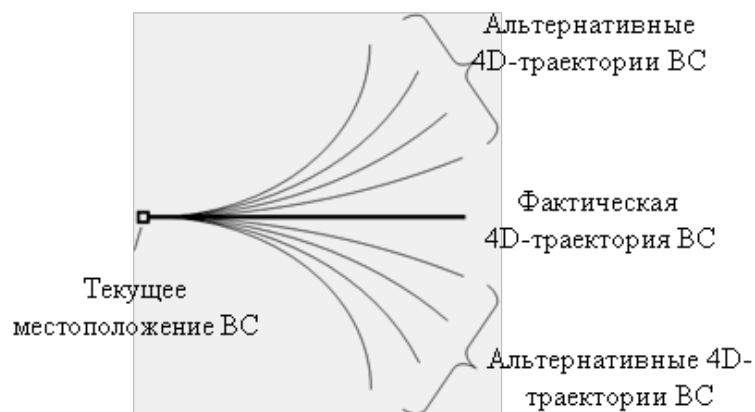


Рис. 2. Альтернативные прогнозируемые местоположения ВС при фиксированном времени прогноза.

5D-траектория $5\zeta_i$ BC_i представляет собой множество точек пятимерного пространства $(\phi_i, \alpha_i, h_i, t_i, u_i) \in 5\zeta_i$.

При фиксированном времени прогноза 5D-точки $(\phi_i, \alpha_i, h_i, t_i, u_i)$ располагаются на оси 5-го измерения U , как это схематично представлено на рис. 2. 5-е измерение U может быть интерпретировано как вероятность появления альтернативных местоположений ВС при фиксированном времени прогноза (рис. 2).

Дадим следующие определения.

4D-куб аэронавигационной информации, ограничений и запретов – описание аэронавигационной информации, ограничений и запретов в четырёхмерном пространстве (пространство-время).

4D-воздушная обстановка – объединение множеств 4D-траекторий ВС, 4D-куба погоды (четырёхмерного куба погодных данных, англ.: Four Dimensional Weather Data Cube, or 4-D Wx Data Cub), 4D-куба аэронавигационной информации, ограничений и запретов.

5-е измерение ВО (воздушной обстановки) – множество альтернативных сценариев развития ВО.

5D-траектория ВС – множество 4D-траекторий ВС, каждая из которых является возможным сценарием движения ВС. 5D-траектория ВС включает фактическую 4D-траекторию, рассчитанную по действующему плану движения, и множество альтернативных 4D-траекторий ВС.

5D-воздушная обстановка – объединение множеств 5D-траекторий ВС, 4D-куба погоды, 4D-куба аэронавигационной информации, ограничений и запретов.

5-е измерение воздушной обстановки описывает многообразие возможного развития ВО, обусловленного возможностью изменения сценариев развития ВО, которая обусловлена множеством возможных действий диспетчера или экипажа.

Неопределенность 5-го измерения $\Psi_5(t_{пр})$ стремится к 0 при времени прогноза $t_{пр} \rightarrow 0$. Иначе говоря, при больших временах прогноза многообразие возможного развития ВО большое, а при $t_{пр} \rightarrow 0$ многообразие уменьшается до 0, а 5-ти мерное пространство «схлопывается» до 4-х мерного, в котором координата времени описывает только настоящее и прошлое, историю воздушного движения без какого бы то ни было многообразия. Таким образом, многообразие 5-го измерения существует только при $t_{пр} > 0$.

Многообразие сценариев будущего развития ВО, в некотором смысле, подобно неопределенности случайных процессов, которая количественно описывается величиной $\sigma(t)$. По аналогии с этим в качестве количественной характеристики многообразия можно использовать величину $\Psi_5(t_{пр})$.

Аксиоматика концепции 5-го измерения ВО требует дальнейшего определения и развития.

Необходимость введения понятия 5-го измерения обусловлена потребностями практического развития АС ОрВД с функциями «что если» и поддержки принятия решений, которые требуют большого количества вычислений.

Общая идея АС ОрВД пятого измерения (5D АС ОрВД) заключается в следующем. Ядром 5D АС ОрВД являются сервер текущей 4D-воздушной обстановки и сервер 5D-воздушной обстановки (рис. 3), которые взаимодействуют с другими подсистемами АС ОрВД (плановая подсистема, подсистема речевой связи, подсистема технического управления и контроля и др.).

Взаимодействие АС ОрВД с внешними системами

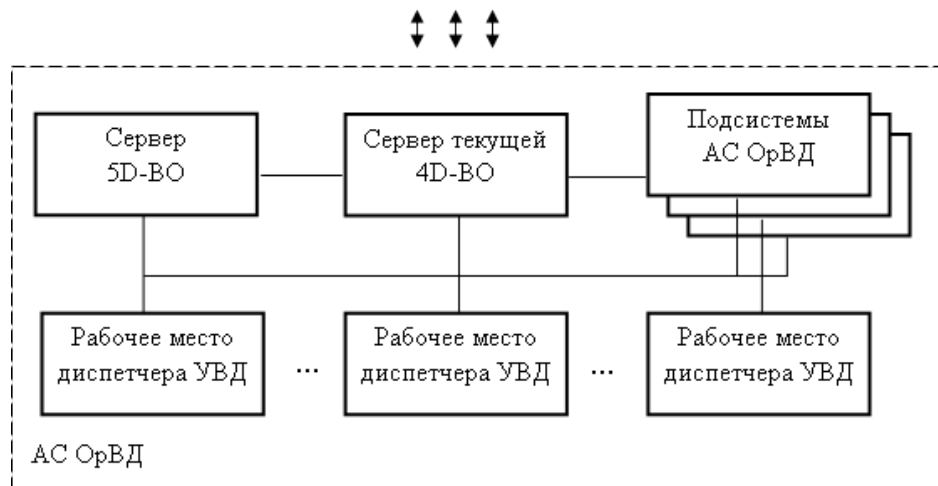


Рис. 3. Информационное ядро 5D АС ОрВД: сервер текущей 4D-воздушной обстановки (4D-ВО) и сервер 5D-воздушной обстановки (5D-ВО).

Сервер текущей 4D-воздушной обстановки обеспечивает получение и хранение всей совокупности информации о 4D-воздушной обстановке: планы движения ВС, 4D-траектории ВС, 4D-куб погоды, 4D-куб аэронавигационной информации, ограничений и запретов. Сервер текущей 4D-воздушной обстановки обеспечивает простой и быстрый доступ к необходимой информации для всех функций и компонентов АС ОрВД и для рабочих мест диспетчера УВД.

На сервере 5D-воздушной обстановки осуществляется расчет наиболее вероятных альтернативных сценариев развития ВО, расчет и хранение наиболее вероятных альтернативных 4D-траекторий ВС, расчет и хранение среднесрочных MTCD (Medium-Term Conflict Detection) и краткосрочных STCA (Short Term Conflict Alert) конфликтов для наиболее вероятных альтернативных 4D-траекторий.

Основная цель использования сервера 5D-ВО заключается в том, чтобы заранее сделать трудоемкие, требующие больших аппаратных ресурсов вычисления, сохранить их и, по мере необходимости, обеспечить к ним практически мгновенный доступ. Некоторые результаты вычислений сервера 5D-ВО могут передаваться на тонкие клиенты рабочих мест диспетчера УВД.

В качестве примера практического использования такого рода технологии сервера 5D-ВО можно привести следующую задачу и ее решение.

При возникновении тактических (на глубине прогноза до 8 минут) и краткосрочных (на глубине прогноза до 2 минут) конфликтов требуется рассчитать, что будет, если конфликтующие ВС будут отворачивать вправо или влево в диапазоне углов отворота от -90° до $+90^\circ$ (функция «что если ВС изменит курс»).

При этом диспетчера интересуют, например, расстояние минимального сближения, местоположение ВС в момент сближения на минимальное расстояние, запас эшелонирования (превышение расстояния между ВС в момент расхождения над нормой эшелонирования), наличие или отсутствие конфликта и некоторые другие данные.

На рис. 4 изображен конфликт ВС AFL001 и CCA002. На рис. 5 изображен график зависимости минимальных расстояний между этими ВС в момент расхождения от курса ВС AFL001. Красным цветом изображены части графика, соответствующие конфликту.

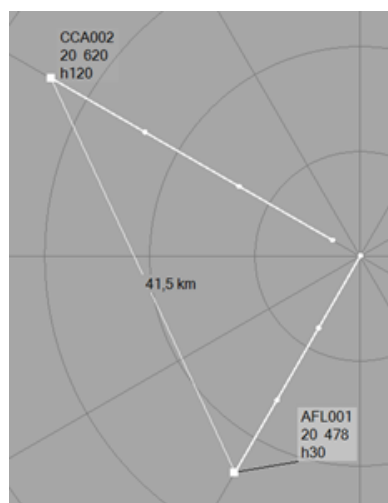


Рис. 4. Конфликт между ВС

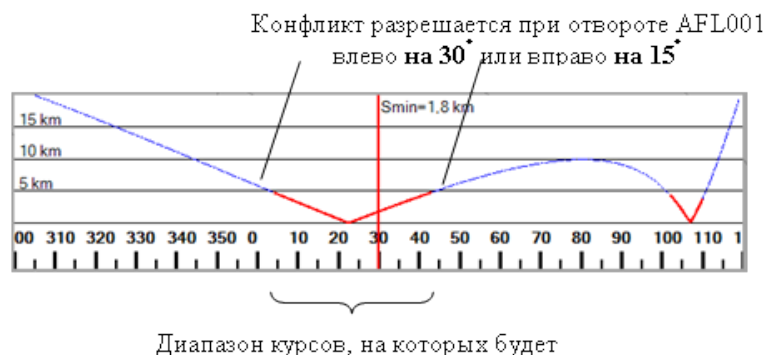


Рис. 5. График зависимости минимального расстояния между ВС в момент расхождения от курса ВС AFL001.

Информация, представленная на рис. 5, необходима диспетчеру. Ему также необходима информация «что если» о местоположении ВС в момент сближения на минимальное расстояние на экране ВО, которая должна отображаться при касании курсором графика, изображенного на рис. 5. Причем отображение этой информации необходимо обеспечить по мере горизонтального перемещения мыши по графику мгновенно, без каких-либо видимых задержек.

Получение этой информации требует относительно много вычислений, в том числе расчета 180-ти альтернативных 4D-траекторий и тактических конфликтов для каждой из этих траекторий. Решение данной задачи в АС ОрВД традиционной архитектуры «клиент-сервер», так, чтобы время отклика было не более 5-20 миллисекунд, представляется невозможным.

Однако технология 5D-АС ОрВД делает решение данной задачи простой. В этой технологии расчет альтернативных 4D-траекторий в диапазоне углов отворота от -90° до

+90° и параметров возникающих при этом конфликтов будет осуществляться на сервере 5D-воздушной обстановки. Результаты вычислений, при необходимости, будут передаваться на тонкий клиент рабочего места диспетчера УВД, которому необходима информация о разрешении конфликта.

Если диспетчеру будет нужна информация «что если» о конфликте при условии, что ВС будет отворачивать на угол -90° до $+90^\circ$, то она будет отображаться диспетчеру практически мгновенно, без каких-либо задержек.

Таким образом, представленная в данной работе концепция АС ОрВД пяти измерений обеспечивает реализацию функций поддержки принятия решения и «что если» со временем отклика не более 5-20 миллисекунд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Учеб. пособие / А. Р. Бестугин, М. А. Велькович, А. П. Плясовских, и др., науч. ред. Ю. Г. Шатракова.– 2-е изд., испр. и доп. - СПб.: Политехника, 2014. – 450 с.
2. SESAR Consortium. Milestone Deliverable D3: The ATM Target Concept. Technical report, 2007.

REFERENCES

1. Avtomatizirovannye sistemy upravleniya vozdushnym dvizheniem: Ucheb. posobie / A. R. Bestugin, M. A. Vel'kovich, A. P. Plyasovskih, i dr., nauch. red. YU. G. SHatrakova.– 2-e izd., ispr. i dop. - SPb.: Politekhnik, 2014. – 450 s.
2. SESAR Consortium. Milestone Deliverable D3: The ATM Target Concept. Technical report, 2007.

Сведения об авторах

Ведров Александр Анатольевич, 1970 г.р., кандидат экономических наук, Заместитель генерального директора ОАО «Концерн «ПВО «Алмаз – Антей».

Плясовских Александр Петрович, 1960 г.р., окончил Актюбинское высшее летное училище гражданской авиации (1985), доктор технических наук, начальник научно-исследовательской лаборатории Санкт-Петербургского всероссийского научно-исследовательского института радиоаппаратуры (ВНИИРА), автор более 45 научных работ, область научных интересов – автоматизация управления воздушным движением.