

# Мультиагентная программная система взаимодействия управляемых динамических объектов

С.С. Валеев  
vss@mail.ru

Ю.В. Зигангирова  
julia.zigangirova@mail.ru

Уфимский государственный авиационный технический университет (Уфа)

## Аннотация

Рассматриваются распределённые вычислительные системы, возникающие при взаимодействии бортовых вычислительных комплексов управляемых динамических объектов в конфликтных ситуациях (на примере систем предупреждения столкновений воздушных судов). Обсуждаются вопросы обеспечения эффективного взаимодействия систем при решении совместных задач. Предлагается рассматривать данную задачу с точки зрения мультиагентного подхода.

**Ключевые слова:** управляемый динамический объект, распределённая вычислительная система, бортовой вычислительный комплекс, мультиагентная система, конфликтная ситуация, воздушное судно.

## 1 Введение

Рассматриваются распределённые вычислительные системы, возникающие в момент взаимодействия бортовых вычислительных комплексов управляемых динамических объектов. При этом они представляют собой обособленные сложные технические объекты, имеющие средства взаимодействия с другими подобными объектами. Примером могут служить воздушные суда (ВС).

В рассматриваемом случае, предполагается, что управляемые динамические объекты способны независимо от других объектов изменять своё положение в пространстве, что в ряде случаев может привести к возникновению конфликтных ситуаций. Процесс разрешения конфликтной ситуации представляет собой процесс принятия решения на основе известного набора данных: прежде всего, данных о геометрической конфигурации модели конфликтной ситуации и динамических характеристиках управляемых динамических объектов, участвующих в решении задачи преодоления конфликтной ситуации. При решении задачи принятия решений необходимо использование значительных вычислительных ресурсов специализированных бортовых вычислительных комплексов, включающих в себя как аппаратные средства сбора данных и обеспечения взаимодействия систем, так и соответствующие программные комплексы.

## 2 Актуальность вопроса

Вопросы обеспечения эффективного взаимодействия управляемых динамических объектов и, в частности, воздушных судов в процессе разрешения конфликтных ситуаций представляет актуальную научно-техническую задачу, так как ошибки в этом процессе могут повлечь гибель людей.

---

*Copyright © by the paper's authors. Copying permitted for private and academic purposes.*

In: G.A. Timofeeva, A.V. Martynenko (eds.): Proceedings of 3rd Russian Conference "Mathematical Modeling and Information Technologies" (MMIT 2016), Yekaterinburg, Russia, 16-Nov-2016, published at <http://ceur-ws.org>

Несмотря на то, что известны решения, позволяющие избежать большого числа авиационных происшествий (бортовые системы предупреждения столкновений), по данным Федеральной службы государственной статистики [3], а также по данным базы авиационных происшествий Aviation Safety Network [4] ежегодно в мире происходит около 30-40 происшествий, в которых в среднем погибает 1000 человек и с каждым годом их количество возрастает. При этом, согласно тем же источникам, процент столкновений ВС в воздухе составляет до 10-12 от общего числа авиационных происшествий.

Одной из основных причин столкновений самолётов в воздухе можно назвать несовершенство процессов взаимодействия и согласования между системами предупреждения столкновений (катастрофа на Боденском озере тому подтверждение). Несмотря на большое количество работ, связанных с совершенствованием данных систем и лежащих в её основе алгоритмов, основная часть из них связана с вопросами управления воздушными судами при разрешении конфликтных ситуаций [5] и задачами планирования траекторий маневрирования [6]. Известные же работы по изучению процессов взаимодействия (прежде всего, с точки зрения мультиагентного подхода) описывают взаимодействие абстрактных объектов и не учитывают специфику предметной области [7].

### 3 Система разрешения конфликтных ситуаций между динамическими объектами

Для разрешения конфликтных ситуаций между ВС используются так называемые Системы предупреждения столкновений самолётов в воздухе (Traffic Alert and Collision Avoidance System, TCAS). Эти системы представляют собой бортовые вычислительные комплексы, которые позволяют наблюдать за ближним воздушным пространством ВС, идентифицировать наличие других объектов в этой зоне, анализировать информацию о взаимном расположении, и в случае обнаружения потенциальной угрозы столкновения, выдавать предупреждение пилотам [1]. Если расстояние между ВС оказывается меньше интервала безопасного эшелонирования [2], система предупреждения столкновений просчитывает и выдаёт пилотам рекомендацию по маневрированию.

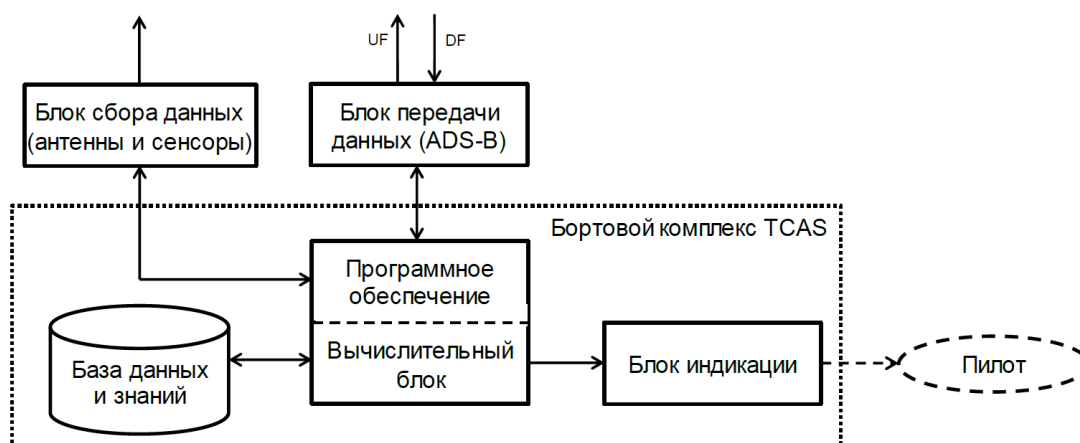


Рис. 1: Структура бортового комплекса для разрешения конфликтных ситуаций

Бортовой комплекс TCAS для разрешения конфликтных ситуаций между ВС имеет структуру, показанную на рисунке 1, и включает в себя следующие блоки: вычислительный блок и соответствующее ему программное обеспечение (включающие также некоторую базу данных), блок индикации выработанных решений (дисплей, звуковое оповещение). Для функционирования комплекса также необходимы блок сбора данных (антенны и сенсоры) и блок передачи данных (транспондер ADS-B).

Взаимодействие TCAS при разрешении конфликтной ситуации осуществляется с помощью специального оборудования – приёмопередчика, или транспондера (англ. transponder, от transmitter-responder). Процесс взаимодействия систем (упрощённая структура обмена сообщениями в виде диаграммы последовательностей «as is») показан на рисунке 2.

Дескрипторы UF, DF обозначают соответственно сообщения по каналу связи «вверх» (сообщения-запросы) и по каналу связи «вниз» (сообщения-ответы). В зависимости от значения дескриптора раз-

личают сообщения наблюдения ( $UF = 0, DF = 0$ ), сообщения отслеживания траекторий ( $UF = 20, DF = 20$ ) и координационные сообщения ( $UF = 16, DF = 16$ ).

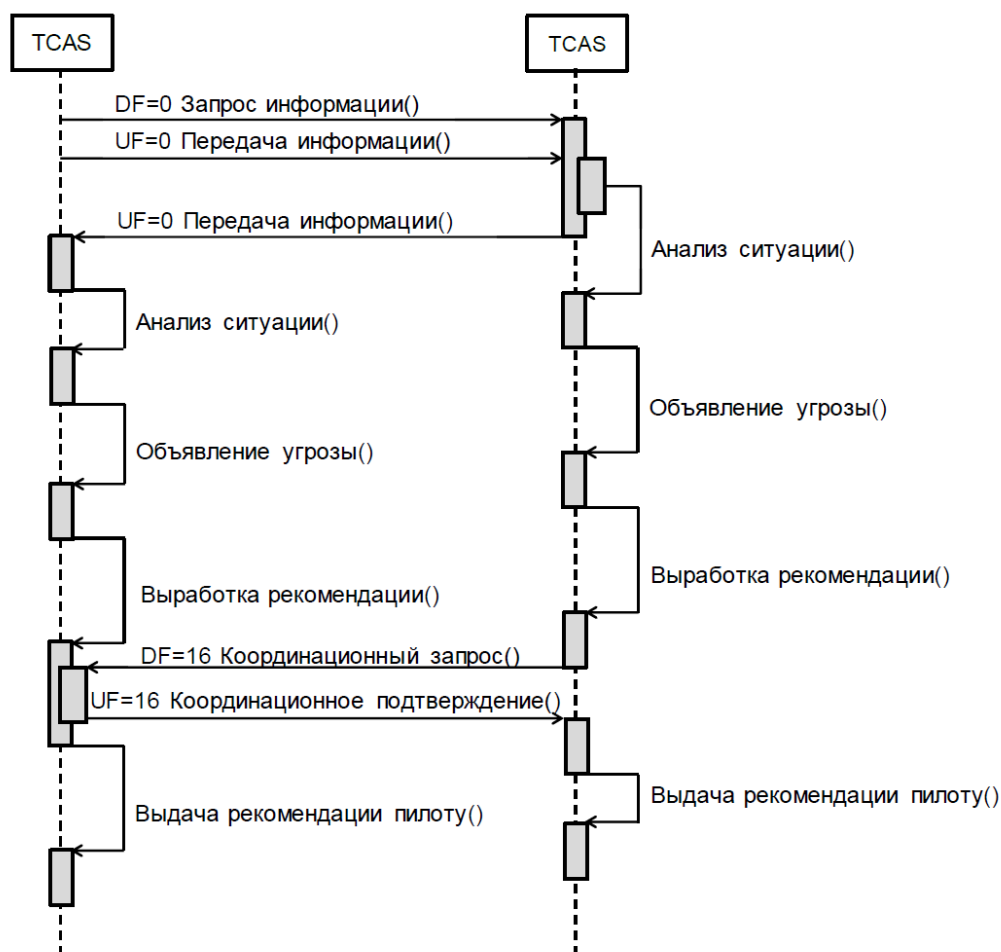


Рис. 2: Упрощённая структура обмена сообщениями в виде диаграммы последовательностей «as is»

После обнаружения конфликтной ситуации каждая из систем просчитывает и вырабатывает некоторый сценарий по её разрешению. В ряде случаев, из-за отсутствия объективной информации о состоянии управляемых динамических объектов и состоянии внешней среды, выработанные сценарии могут различаться, следовательно, возникает необходимость их согласования.

Как известно, в настоящее время согласование решений между TCAS происходит по жёсткому алгоритму и представляет собой простое подтверждение получения сообщения со сценарием разрешения конфликтной ситуации и выбор первого выработанного сценария [1]. В данной работе предлагается перейти от жёстких программных алгоритмов к мультиагентному взаимодействию [8], [9]. Тогда рассматриваемые системы можно представить в виде интеллектуальных агентов, принимающих совместные решения. При этом возникает задача обеспечения их эффективного взаимодействия.

При согласовании решений между агентами могут быть использованы различные концепции выработки совместных решений. Например, в соответствии с принципом пригодности процесс согласования должен включать процедуру подтверждения получения сообщения со сценарием разрешения конфликтной ситуации. В качестве общего решения в мультиагентной системе принимается сценарий, обеспечивающий достижение заданных характеристик системы в рамках известных ограничений. При этом основным критерием эффективности является время, необходимое для выработки совместного решения.

В рамках же принципа оптимальности из всех допустимых стратегий выбирается та, которая приводит к наилучшим значениям характеристик системы, то есть критерием выбора сценария является некоторый

показатель его эффективности.

#### 4 Предлагаемое решение

В работе рассматривается реализация взаимодействия агентов в соответствии с принципом адаптивного поведения в условиях влияния различных факторов неопределённости, что предполагает изменение правил выработки совместного решения при различных конфликтных ситуациях.

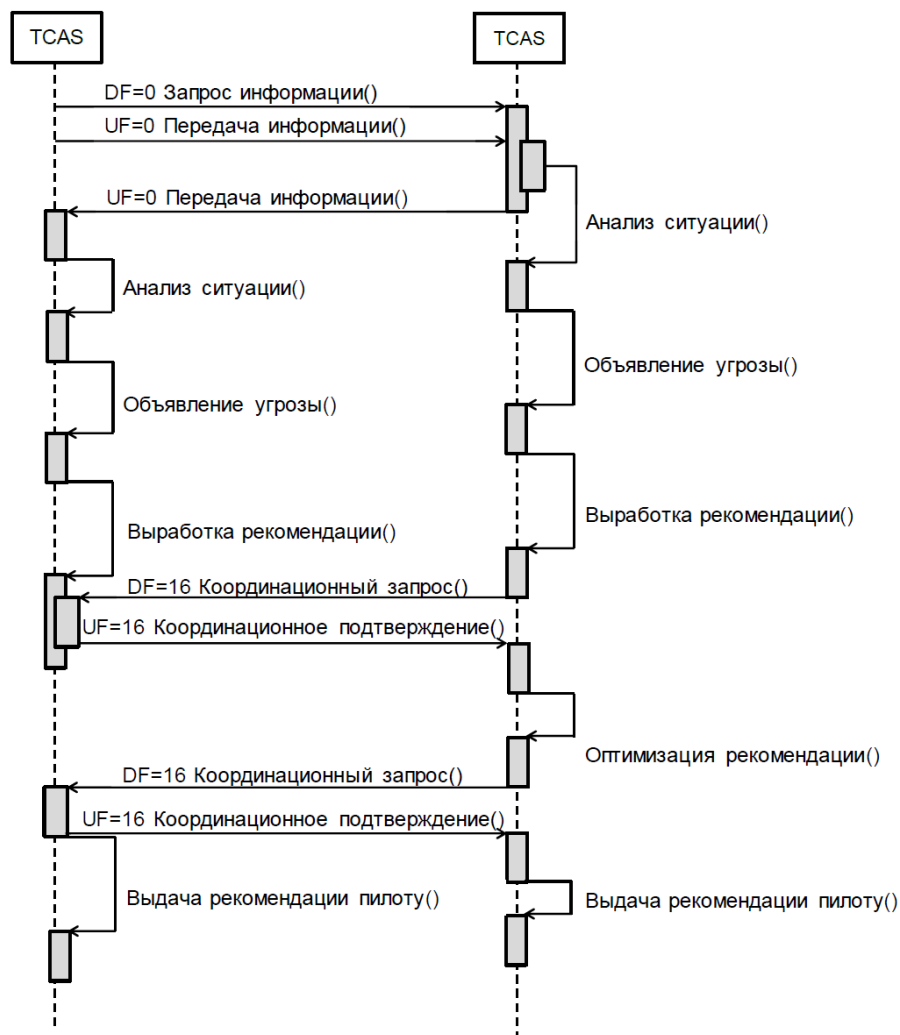


Рис. 3: Упрощённая структура обмена сообщениями в виде диаграммы последовательностей «to be»

В нашем случае алгоритмы взаимодействия программных агентов, во-первых, должны включать решение задачи оптимизации рекомендаций по некоторому критерию и соответствующей дополнительной координации, а во-вторых, должны предусматривать возможность изменения критериев поиска оптимального решения в зависимости от текущей ситуации: использовать либо критерий, учитывающий время выработки решения, либо – критерий, учитывающий эффективность решения (сценария) по заданным показателям.

Однако в таком случае, если в качестве критерия оптимизации выбрать некоторый критерий эффективности предлагаемого сценария разрешения конфликтной ситуации, то процесс согласования не может состоять в принятии первого выработанного решения. (Далее будем считать, что такой критерий известен и задан.) Таким образом, здесь возникает необходимость так изменить процедуры обмена сообщениями (протокол), чтобы стало возможным решение задачи оптимизации рекомендаций.

Необходимо понимать, что включение в структуру диалога дополнительных итераций влечёт за собой увеличение времени принятия решения, следовательно, в ряде случаев применение систем предупреждения столкновений, построенной в строгом соответствии с концепцией оптимальности, не желательно.

Например, в случае внезапного обнаружения конфликтной ситуации, то есть существенного дефицита времени, необходимо максимально быстро выработать любое допустимое решение. И наоборот, в нормальных условиях возможно выбрать сценарий разрешения конфликтной ситуации, подразумевающий выполнение более эффективного манёвра. Поэтому предлагается реализация системы предупреждения столкновений в соответствии с концепцией адаптивного поведения, что означает, что правило выбора решения может изменяться при изменении некоторых условий [10]. Следовательно, алгоритмами системы предупреждения столкновений должна быть предусмотрена возможность в зависимости от текущей ситуации изменять критерий поиска решения: либо использовать критерий времени выработки решения, либо – критерий его эффективности.

На рисунке 3 наглядно показана упрощённая структура диалога при выборе решения по некоторому критерию его эффективности в виде диаграммы последовательностей «to be». Суть предлагаемых изменений заключается во введении в процесс разрешения конфликтной ситуации этапа оптимизации рекомендаций (в соответствии с заранее определённым критерием) и соответствующей дополнительной координации.

В этом случае после выработки некоторой предварительной рекомендации система предупреждения столкновений отправляет координационный запрос, содержащий информацию об этой рекомендации, другой системе. Она, в свою очередь, отправляет аналогичный запрос первой, после чего происходит решение оптимизационной задачи в соответствии с заранее определённым критерием эффективности.

В процессе разрешения конфликтной ситуации между двумя ВС данная задача фактически сводится к сравнению двух сценариев и выбору наилучшего. Поскольку сравнение представляет собой простую задачу, имеющую единственное решение, то согласование полученных двумя системами результатов возможно по правилу первого выработанного решения.

Для возможности осуществления взаимодействия систем в соответствии с предложенной структурой диалога 2 необходимо внести изменения в форматы сообщений протоколов СПС. Данные сообщения частично рассматривались в работе [10], где были сделаны выводы о возможности внесения дополнительных информационных битов.

## 5 Заключение

Рассматривается мультиагентная программная система взаимодействия управляемых динамических объектов. Обсуждаются особенности архитектуры распределённой вычислительной системы, формируемой при взаимодействии бортовых вычислительных комплексов управляемых динамических объектов в конфликтных ситуациях (на примере систем предупреждения столкновений воздушных судов). Предлагается решение задачи обеспечения эффективного взаимодействия систем на базе модифицированного протокола взаимодействия в распределённой вычислительной системе.

## Список литературы

- [1] ICAO Doc 9574. *Airborne Collision Avoidance System (ACAS) Manual*. Montreal, International Civil Aviation Organization, 2006.
- [2] ICAO Doc 9574. *Manual on Implementation of a 300 m (1 000 ft) Vertical Separation Minimum Between FL 290 and FL 410 Inclusive*. Montreal, International Civil Aviation Organization, 2006.
- [3] Rossiya v cifrah. 2015: Kratkij statisticheskij sbornik. Moskva, Rosstat, 2015. (in Russian) = Россия в цифрах. 2015: Краткий статистический сборник. Москва, Росстат, 2015.
- [4] Aviation Safety Network: Statistics. *Aviation Safety Network*. URL: <http://aviation-safety.net/statistics/> (02.04.2016).
- [5] S. I. Kumkov, S. G. Pjatko. Zadacha obnaružhenija i razreshenija konfliktnyh situacij v avtomatizirovannoj sisteme upravlenija vozdušnym dvizheniem. *Nauchnyj vestnik «NII Aeronavigacii»*, 12:35-45, 2013. (in Russian) = С. И. Кумков, С. Г. Пятко. Задача обнаружения и разрешения конфликтных ситуаций в автоматизированной системе управления воздушным движением. *Научный вестник «НИИ Аэронавигации»*, 12:35-45, 2013.

- [6] D. Sislak. Agent-based Approach to Air-Traffic Modeling, Simulation and Collision Avoidance. *Collection of Articles with Commentary*. Prague, 2013.
- [7] S. S. Parondzhanov. Modeli, metody i programmnye sredstva organizacii vzaimodejstvija intellektual'nyh agentov. Avtoref. dis. kand. tehn. nauk: 05.13.11. Moskva, 2008. (in Russian) = С. С. Паронджанов. Модели, методы и программные средства организации взаимодействия интеллектуальных агентов. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.11. Москва, 2008.
- [8] Yu. V. Ayguzina , S. S. Valeev. Multiagent approach for. collision avoidance systems in aviation. *Vestnik UGATU*, 18(5):15-19, 2014.
- [9] Yu. V. Ayguzina , S. S. Valeev. Multiagent approach for collision avoidance systems. *Proceedings of the 2nd International Conference «Information Technologies for Intelligent Decision Making Support» and the Intended International Workshop «Robots and Robotic Systems»*, Ufa, vol. 8, pp. 8-11, 2014.
- [10] S. S. Valeev, Ju. V. Zigangirova. Protokoly vzaimodejstvija dinamicheskikh sistem dlja razreshenija konfliktnyh situacij. *Materialy 3-ej mezhdunarodnoj konferencii «Informacionnye tehnologii intellektual'noj podderzhki prinjatija reshenij 2015»*, Ufa:102-106, 2015. С. С. Валеев, Ю. В. Зигангирова. Протоколы взаимодействия динамических систем для разрешения конфликтных ситуаций. *Материалы 3-ей международной конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений 2015»*, Уфа:102-106, 2015.

# Multi-agent software system of dynamic objects interaction

*Sagit S. Valeev*

Ufa State Aviation Technical University (Ufa, Russia)

*Yuliya. V. Zigangirova*

Ufa State Aviation Technical University (Ufa, Russia)

**Abstract.** Distributed computing systems arising in interaction between on-board computer systems of controlled dynamic objects in conflict situations are considered (in case of aircraft collision avoidance systems). The issues of effective communication between systems are discussed. It is proposed to consider this problem from the perspective of multiagent approach.

**Keywords:** controlled dynamic object, distributed computing system, on-board computer system, multiagent system, conflict situation, aircraft.