

УДК 004.031.2

DOI: 10.26467/2079-0619-2022-25-1-65-76

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ АЭРОНАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ МНОГОАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Д.Э. ЭШМУРАДОВ¹, Т.Д. ЭЛМУРАДОВ¹, Н.М. ТУРАЕВА²

¹ *Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова,
г. Ташкент, Республика Узбекистан*

² *Ташкентский университет информационных технологий имени Мухамада Аль-Хоразми,
г. Ташкент, Республика Узбекистан*

Прогресс в развитии средств вычислительной техники обеспечивает возможность решать все более широкий класс задач с помощью программных систем, к числу таких задач относится задача автоматической обработки аэронавигационной информации. Это обуславливает необходимость использования новых подходов к проектированию и разработке таких систем. Один из этих подходов основан на применении идеи коллективной деятельности совокупности агентов – многоагентных технологий. В связи с этим цель статьи заключается в рассмотрении особенностей реализации автоматизированной обработки аэронавигационной информации на основе многоагентных технологий. Для достижения обозначенной цели была выбрана проблемно-структурная методология синтеза гибридных систем, которая позволяет создавать самоорганизующиеся модели, каждый элемент которых развивается, получая данные и знания от других элементов. В процессе исследования представлено формальное определение многоагентной системы автоматической обработки аэронавигационной информации, которое включает в себя множество агентов; среду функционирования агентов; совокупность допустимых взаимоотношений между агентами; описание правил формирования сети агентов; набор индивидуальных и совместных действий, коммуникационных взаимодействий, стратегий поведения и поступков; возможность эволюции системы. Также детальное внимание уделено описанию каждого агента, для чего авторами предложено использовать четыре элемента: множество переменных, входы и выходы, автономный метод, который выполняет соответствующие изменения над множеством переменных. В качестве агентов предложено использовать следующие: агент уведомления для летчиков, агент предполетных информационных бюллетеней, агент создания данных, агент авиационных процессов, агент формирования авиационной базы данных, агент создания аэронавигационных карт, агент экспорта (импорта) набора аэронавигационных данных, агент публикаций и справочников. Кроме того, в статье представлено схематическое изображение многоагентной системы автоматизированной обработки аэронавигационной информации и в математическом выражении подробно описан процесс обработки заявки в агенте. Полученные в процессе исследования результаты могут использоваться для повышения эффективности аналитической составляющей в структуре системы формирования прямых и обратных координационных связей при решении задач аэронавигации.

Ключевые слова: автоматизация, обработка, многоагентная система, аэронавигация, процесс, среда.

ВВЕДЕНИЕ

Бурное развитие информационных технологий дало толчок совершенствованию аэронавигационных систем как в гражданской, так и в военной авиации. Аэронавигационная информация, полученная аппаратурой пользователей спутниковых радионавигационных систем, позволяет на качественно новом уровне решать задачи управления (лучше воздушными судами) летательными аппаратами и различными объектами военного назначения [1].

Современные высокоточные системы навигации базируются на использовании инерциальных навигационных систем, которые могут быть дополнены как системами спутниковой коррекции, так и системами навигации по геофизическим полям Земли. Так, например, автоматическая бортовая система управления (АБСУ) полетом самолета Airbus 320 включает в себя семь компьютеров управления полетом – два ELAC (Elevator Aileron Computer), три SEC (Spoilers Elevator Computer) и два FAC (Flight Augmentation Computers). В общей сложности АБСУ содержит свыше 130 компонентов¹. Кроме того, эти компоненты получают информацию

¹ AIRBUS A-320 [Электронный ресурс] // SKYbrary. 2017. URL: <https://www.skybrary.aero/index.php/A320> (дата обращения: 14.10.2021).

из многочисленных источников, включая боковые педали и педали руля, инерциальные опорные блоки воздушных данных (ADIRU), интерфейсные блоки управления шасси (LGCIU), компьютеры управления закрылками (SFCC), компьютеры управления полетом (FMGC) и акселерометр и т. д. При такой сложности от того, насколько надежно работает АБСУ, в значительной степени зависит объем нагрузки на экипаж и безопасность полетов в целом.

В подобных условиях возникает необходимость интеграции аэронавигационных составляющих различных систем, которая позволит обеспечивать функционирование автоматизированных систем управления, улучшать мобильное реагирование на изменение обстановки, достигать функциональной устойчивости пилотажно-навигационного комплекса летательного аппарата на отдельных режимах полета. Не подлежит сомнению тот факт, что данная задача может быть решена за счет использования инструментов и комплексов автоматической обработки аэронавигационной информации.

Причем к автоматической обработке аэронавигационной информации выдвигается ряд требований, а именно:

- оцифровка аэронавигационных данных, что позволит пользователям управлять критически важной информацией для безопасности полетов и оптимизировать процессы;
- отображение на основе используемой цифровой информации с временным и географическим представлением фактической ситуации, например закрытые взлетно-посадочные полосы и рулежные дорожки, временные маршруты и т. д.;
- полная поддержка процесса верификации и валидации в соответствии с регламентом RTCA DO-2008 для удовлетворения требований к качеству данных по точности, разрешающей способности, целостности, отслеживаемости и т. д.;
- гарантии того, что авиационные данные будут отслеживаться по всей цепочке их поступления для выявления ошибок;
- автоматизированный процесс проверки целостности элемента данных, при котором определенный элемент сравнивается с информацией из другого источника, либо из другого процесса, либо из другой точки того же процесса [2].

С учетом вышеизложенного на сегодняшний день, по мнению авторов, одним из перспективных методов, который позволит решить ключевые задачи использования аэронавигационной информации, будет удовлетворять обозначенным требованиям и создаст надежную основу для автоматизированных систем обработки данных, является многоагентная технология, относящаяся к сфере распределенного искусственного интеллекта. Преимущества многоагентной системы – это относительная простота разработки отдельных агентов, большая способность к адаптации, интероперабельность, что позволяет расширять систему агентами, созданными независимыми разработчиками.

Таким образом, исследование перспектив использования многоагентных систем для автоматической обработки аэронавигационной информации является актуальной научно-практической задачей, решению которой и посвящена данная статья.

Методологическим обоснованием, разработкой и созданием мультиагентных систем управления и обработки данных занимаются такие известные ученые, как Dominik Ryžko, Martin L. Gill, Amrit Singh Bedi; Alec Koppel; Ketan Rajawat, В.П. Андреев, Г.А. Филяев, В.Я. Вилисов.

Практические аспекты внедрения интеллектуальных систем анализа информации в различных отраслях промышленности рассматривают в своих трудах Е.Ю. Бозюкова, С.А. Олейникова, Ю.Н. Булатов, Э.К. Шуманский, Thomas Wiedemann, R.-S. Chen; К.-Y. Lu; С.С. Chang.

Перспективы использования мультиагентных технологии для интеграции гетерогенных информационных систем и распределенных баз данных в системах навигации, в том числе и в авиации, детально представлены в трудах Y. Takada; T. Mohri; H. Iciki; M. Shiouchi.

Однако, несмотря на широкий интерес к рассматриваемой проблематике, необходимо отметить, что существующие на сегодняшний день наработки и достижения не систематизиро-

ваны и в большинстве своем фрагментарны. Это в свою очередь требует перехода от точечных и ситуативных решений в области интеллектуальной обработки данных к фундаментальным обобщениям механизма реализации агентно ориентированного подхода и синтезу интеллектуальных информационных систем управления любого уровня.

Итак, цель статьи заключается в рассмотрении особенностей реализации автоматизированной обработки аэронавигационной информации на основе многоагентных технологий.

МЕТОДЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленной задачи представляется целесообразным использовать проблемно-структурную методологию синтеза гибридных систем. Выбор данной методологии обусловлен тем фактом, что она дает принципиальную возможность решать без упрощения сложные практические задачи, которые постоянно возникают в процессе обработки аэронавигационной информации. Также она позволяет создавать самоорганизующиеся модели, каждый элемент которых развивается, получая данные и знания от других элементов [3]. Кроме того, в рамках данного подхода можно разрабатывать модели систем, релевантные оригиналу, что подтверждается успешными примерами в различных предметных областях. Ценность данной методологии именно для аэронавигации и огромного потока данных, продуцируемых различными системами, которые обеспечивают ее функционирование, заключается в том, что она позволяет создавать большое количество методов, которые адаптируются к непрерывным изменениям в составе и структуре неоднородных задач, и экспериментировать с ними, направляет эволюцию способов накопления, обработки и представления информации согласно вектору, обозначенному разработчиком системы [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Аэронавигационная информация – это информация, полученная в результате сбора, анализа и форматирования аэронавигационных данных, которые представлены в виде массивов цифровых данных или в стандартизированном формате в печатном виде или на электронных носителях. В свою очередь аэронавигационные данные включают в себя массивы данных о местности, препятствиях, картографических данных аэродрома, процедурах полетов по приборам, аэронавигационные карты и др. Кроме того, в их состав входит долгосрочный прогноз, касающийся любых значительных изменений законодательства, предписаний, правил или средств; информация пояснительного или консультативного характера, которая может повлиять на безопасность полетов; информация или сообщение о технических, законодательных или административных вопросах, влияющих на безопасность полетов.

Для обработки аэронавигационной информации используется широкий спектр методов, которые классифицируются по различным признакам: по способу обработки – ручная, автоматическая, комбинированная; по источникам используемых данных – горизонтальная, вертикальная, перекрестная; по количеству привлекаемых участников – индивидуальная и бригадная обработка. Например, недостатками горизонтальной обработки аэронавигационной информации является отсутствие учета информационных потоков, которые возникают в смежных подразделениях и между ними, что приводит к ошибкам и искажению характеристик общего информационного потока. Кроме того, в процессе горизонтальной обработки осуществляется излишнее глубокое изучение отдельных аспектов, на что тратится дополнительное время и труд. В свою очередь, в состав преимуществ вертикальной обработки можно отнести использование одинаковых методов расчета отдельных показателей; возможность выявления общей исходной информации, что облегчает изучение всей картины информационного потока.

Если речь идет об обработке информации исключительно с использованием современных информационных систем, персональных компьютеров и высокотехнологичных комплек-

сов, тогда можно выделить следующие наиболее популярные модели и методы: сетевая модель, матричная модель, графоаналитический метод, описание процедур на алгоритмическом языке, динамическая информационная модель. Очевидно, что подробный анализ достоинств и недостатков обозначенных методов и моделей, возможностей и ограничений их применения в процессе обработки аэронавигационной информации представляет собой значительный интерес, однако обозначенное перспективное направление научного поиска требует отдельного, более углубленного исследования, задачи которого выходят за рамки данной статьи.

Многоагентная система – это сгруппированные агенты информационной сети, которые взаимодействуют между собой и достигают поставленной разработчиком цели [5]. Для того чтобы в рамках автоматической обработки аэронавигационной информации обеспечить взаимосвязь всех трех уровней принятия решений: оперативного, стратегического, целеполагающего, – необходимо, чтобы многоагентная система формировала единую информационную картину – информационный образ, который можно представлять в виде конфигурации «пользователь информации – процесс – среда».

Для решения задач проактивного управления многоагентная система обработки аэронавигационной информации должна соединять такие новейшие технологические достижения, как интеллектуальный анализ данных, мобильные технологии, технологии моделирования, поддержки решений и реализации управленческих воздействий в масштабе реального времени, а также интегрировать инструменты, как поддержки, так и сугубо принятия решений [6].

Формальное определение многоагентной системы автоматической обработки аэронавигационной информации имеет следующий вид:

$$AgentNet (Agnt, Env, Rel, Org, Act, Com, Evol),$$

где *Agnt* – множество агентов;

Env – среда функционирования агентов;

Rel – совокупность допустимых взаимоотношений между агентами;

Org – описание правил формирования сети агентов;

Act – набор индивидуальных и совместных действий, стратегий поведения и поступков;

Com – набор индивидуальных и совместных действий или коммуникационных взаимодействий;

Evol – возможность эволюции системы.

Каждого агента $Agnt_i, i = \overline{1, n}$ можно описать с помощью четырех элементов:

$$Agnt_i = \langle State_i, X_i, Y_i, Process_i \rangle,$$

где $State_i$ – множество переменных, которые полностью определяют $Agnt_i$,

X_i, Y_i – входы и выходы $Agnt_i$ подмножества $State_i$, элементы которых связаны с *Env*;

$Process_i$ – автономный метод, который выполняет соответствующие изменения над $State_i$.

В качестве агентов системы могут выступать следующие элементы.

1. Агент уведомления для летчиков, реализуемый через модуль NOTAM, который соединяет автоматические функции международных и национальных отделов NOTAM, такие как создание, хранение, распространение и поиск NOTAM, в полном соответствии со стандартами ICAO. Он охватывает NOTAM, ASHTAM, ANM, AIM и CRAM и помогает гармонизировать форматы NOTAM.

2. Агент предполетных информационных бюллетеней. Данный агент может быть реализован через решение PIB Bulletin Portal, которое создает стандартные бюллетени и сводки на основе данных от FIRs (Flight Information Region), аэродромов, маршрутов, полигонов, ограничительных воздушных пространств, уровней, времени и всех параметров, известных из линии

NOTAM Q. Это позволяет получить минимизированные PIB (Pre Flight Information Bulletins) с четырехмерным содержанием, непосредственно связанные с полетом. Он исключает не относящиеся к делу NOTAM и может использовать преимущества службы обновления и функциональных возможностей планировщика.

3. Агент создания данных. Назначение этого агента – поддерживать непрерывную электронную цепочку данных ICAO для получения и публикации необходимой аэронавигационной информации. Он обеспечивает платформу для интеграции всей информации, функций, процессов и заинтересованных сторон цепочки аэронавигационных данных через организационные границы посредством веб-интерфейса с учетом функций ICAO по сбору, сопоставлению и предоставлению аккумулируемой информации.

4. Агент авиационных процессов – необходим для поддержки процедур получения, утверждения и публикации аэронавигационных данных. Функционирование данного агента будет гарантировать, что полученные необработанные данные оцениваются, утверждаются и сохраняются в заранее определенной последовательности, а все действия регистрируются на законных основаниях.

5. Агент формирования авиационной базы данных, его цель – сбор всей необходимой информации для PBN (Performance Based Navigation), данных о рельефе местности, данных о препятствиях, данных картографирования аэродромов (AMDB), управления NOTAM, а также аэронавигационных карт.

6. Агент создания аэронавигационных карт – разработка аэронавигационных карт и диаграмм охватывает весь жизненный цикл публикации карт от определения карты и автоматического создания до обнаружения изменений, обновления и создания выходных данных.

7. Агент экспорта (импорта) набора аэронавигационных данных – благодаря этому агенту обеспечивается непрерывная цепочка формирования, использования и передачи электронных аэронавигационных данных, которые имеют структурированную форму и позволяют следующему предполагаемому пользователю использовать и проверять полученные данные.

8. Агент публикаций и справочников. Этот агент обеспечивает интегрированный контроль процесса качества для публикации AIP, AIP Amendment, AIP Supplement, AIC и других руководств по управлению полетами и аэродромами. Агент необходим для того, чтобы вносимые изменения были максимально простыми, понятными и быстрыми для публикации.

Среда Env может быть подана через элементы:

$$env = \langle State_{env}, Process_{env} \rangle.$$

Важной особенностью такого представления среды является то, что она сама по себе активная, содержит свой собственный $Process_{env}$, который может изменять $State_{env}$ независимо от агентов, входящих в эту среду. Структурные элементы среды Env могут быть представлены корпоративными базами и хранилищами данных, базой знаний и базой моделей, различными транзакционными и аналитическими системами, почтовыми серверами, системами документооборота и тому подобное.

Для эффективного взаимодействия между уровнями многоагентной системы автоматизированной обработки аэронавигационной информации, представленной в виде конфигурации «пользователь информации – процесс – среда», представляется целесообразным использовать концепцию многоуровневых интеллектуальных систем. Многоуровневый подход реализует модель взаимодействия, в которой набор составляющих компонентов интеллектуальной системы взаимодействует и обменивается знаниями в некотором внутреннем представлении [7]. Структурная схема модели представлена на рис. 1.

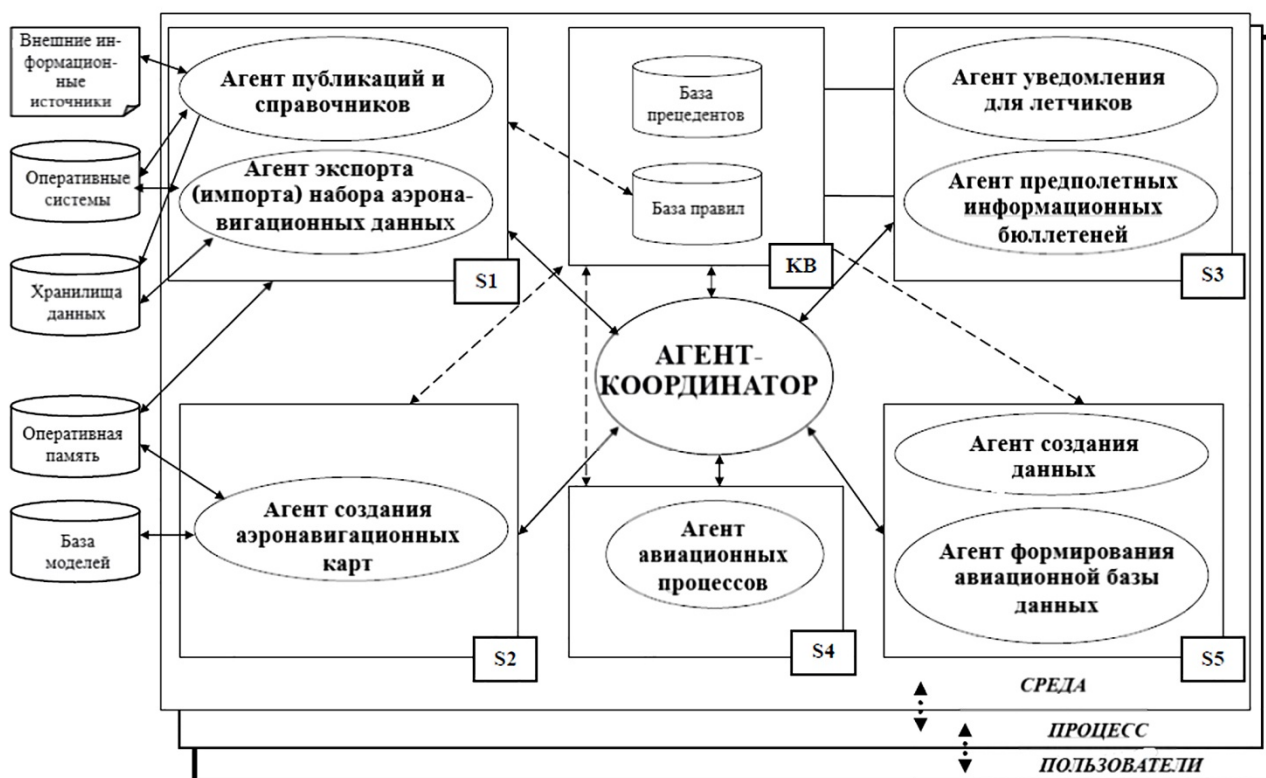


Рис. 1. Схема многоагентной системы автоматизированной обработки аэронавигационной информации
Fig. 1. The diagram of a multi-agent system of automated aeronautical information processing

ОБСУЖДЕНИЕ

Назначение различных групп агентов, составляющих схему многоагентной системы автоматизированной обработки аэронавигационной информации, представленной на рис. 1, позволяет объединить их в различные функциональные подсистемы. Например, подсистема S1 отвечает за формирование и анализ образа автоматической обработки аэронавигационной информации. В среде этой подсистемы взаимодействуют между собой агенты сбора данных, представляющих собой программы, которые осуществляют сбор и консолидацию информации для решения задач управления полетами.

Агент создания навигационных карт является агентом моделирования, который взаимодействует в среде подсистемы моделирования решений S2 и демонстрирует высокую результативность в своей интеллектуальной реализации. Этот агент учится на опыте и может предложить наиболее подходящую модель вычислений и анализа, в том числе и гибридную.

Агенты из блока S3 – это агенты поиска правил и прецедентов, которые выступают как составляющие подсистемы поиска решений в базе знаний. Они могут быть реактивными, создавать в процессе решения выдвинутых перед ними задач ансамбль агентов. В большинстве своем реактивные структуры характерны и для агентов влияния, функционирующих в среде подсистемы формирования и реализации управленческих воздействий S4, и для агентов презентаций из интерфейсной подсистемы S5.

Агенты изучения предпочтений пользователя должны быть когнитивными, только в такой реализации они могут выполнить поставленные перед ними задачи [8]. Накопление и обработка знаний таких агентов осуществляется на основе базы знаний KB, например с применением онтологий.

Рассмотрим более подробно процесс обработки заявки в агенте.

С появлением заявки R на входе агента в случае, когда она может быть обработана, в агенте начинается продвижение пакетов с данными. Пакет C в момент времени τ является четверкой, которая состоит из уникального идентификатора текущего запроса $u \in N$ алфавита данных, обрабатываемых M , текущих данных d для обработки, агента и пути P , который данный пакет прошел (упорядоченное подмножество элементов последнего):

$$C^\tau = \langle u, M^\tau, d^\tau, P^\tau \rangle, P^\tau \subseteq A. \quad (1)$$

При $\tau = 0$ имеем $M^\tau = X', d^\tau = x, P^\tau = \{\}$. После обработки пакета элементом $a_t (t \in [1, n])$ агента части M и d изменяются в соответствии с исходным алфавитом текущего элемента и результатами проведенного преобразования:

$$\begin{cases} M^{\tau+1} = Y^t, \\ d^{\tau+1} = f_{a_t}(d^\tau), \\ P^{\tau+1} = P^\tau \cup a_t. \end{cases} \quad (2)$$

Далее происходит передача пакета $C^{\tau+1}$ следующим элементам. На агента возлагается задача определения, кому из элементов необходимо передать заданный пакет. Последний может быть доставлен только тому элементу, который имеет соответствующий входной алфавит [9]. Следовательно, при принятии решения о пункте назначения пакета агент формирует выборку элементов из множества доступных (тех, которые могут обработать текущие данные), руководствуясь результатами анализа текущего состояния системы. Такая выборка из m элементов может быть описана следующим образом:

$$\{a_i | M^\tau \subseteq X^i\} \subseteq A, i = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Следует отметить, что ситуация с несколькими маршрутами возможна, когда агент имеет в своем составе элементы, чьи входные алфавиты пересекаются:

$$m > 1 \Rightarrow \exists j, k \in [1, n]: X^j \cap X^k \neq \{\}. \quad (4)$$

Изменения в работе системы могут быть осуществлены путем модификации решений по доставке пакета через граф G агента. Агент должен выбрать маршрут с наименьшей стоимостью для продвижения пакета. Тогда, когда такой маршрут неизвестен, выполняется широко-вещательная передача пакета элементам, которые могут обработать данные, передаваемые внутри. Из всех возможных маршрутов, образованных таким образом, выбирают те, которые дают минимальное время прохождения пакета. Такие маршруты запоминаются и используются для дальнейших обработок соответствующих заявок [10].

Исходя из своего текущего состояния и набора функций φ , агент может принять решение о «нежелательности» прохождения пакета по определенной дуге графа G или маршрута. В таком случае агент может замедлять прохождение данных по выбранной дуге и корректировать выбор маршрута.

Таким образом, агент получает возможность изменения способов обработки входящих заявок в зависимости от собственных целей, которые определяются функцией стоимости φ . Такая реконфигурация маршрута осуществляется в случае появления в структуре агента элемента, который может входить в альтернативный маршрут или способен изменять стоимость маршрутов обработки заявки [11].

В качестве обобщенного критерия оптимальности функции φ можно использовать непосредственно стоимость обработки информации в рамках многоагентной системы. Основным пред-

положением при использовании данного критерия оптимальности является аддитивность стоимости C_i отдельных частей многоагентной системы относительно общей стоимости C_Σ всей системы:

$$C_\Sigma = \sum_{i=1}^n C_i, \quad (5)$$

где n – общее количество составных частей системы.

В свою очередь стоимость системы определяется следующими параметрами:

- экономичный эффект от автоматизации обработки аэронавигационной информации;
- капитальные затраты на средства вычислительной и организационной техники многоагентной системы;
- стоимость проектирования технологических процессов многоагентной системы;
- ресурсы на проектирование и эксплуатацию системы;
- срок проектирования технологии многоагентной системы;
- эксплуатационные расходы;
- параметры функциональных задач;
- параметры вычислительной и организационной техники;
- стоимость организации и эксплуатации БД или файлов данных;
- параметры структур хранения и стоимость хранения данных;
- время доступа к данным;
- время решения функциональных задач пользователей;
- эффективность методов контроля.

В качестве решающего правила построения системы с точки зрения уменьшения ее стоимости будем рассматривать следующее требование:

$$C_\Sigma = \sum_{i=1}^n C_i = \min. \quad (6)$$

Соотношение (6) показывает, что наиболее эффективной в стоимостном плане многоагентной системой является простая ($n \rightarrow 0$) и дешевая ($C_i \rightarrow 0$) система. Однако необходимо принимать во внимание тот факт, что каждая система выполняет определенные функциональные задачи. Будучи достаточно дешевой, такая многоагентная система может совсем не удовлетворять требуемому уровню своего функционального назначения – качеству и скорости обработки аэронавигационной информации. Поэтому соотношение стоимостной оптимальности следует дополнить условием выполнения функционального совершенства P системы. Поскольку между стоимостью системы и ее функциональным совершенством существует безусловная зависимость, для достижения ее экстремума можно записать следующее требование:

$$P_\Sigma = P[C_i] \rightarrow \max, \quad (7)$$

$$C_\Sigma = \min. \quad (8)$$

В рациональном виде экстремум будет выглядеть таким образом:

$$P_\Sigma = P[C_i] \geq P_{\text{зад}}, \quad C_\Sigma = \min, \quad (9)$$

где P_Σ является обобщенным показателем функционального совершенства системы, например ее эффективности, функциональности, вероятности выполнения задания;

$P[C_i]$ – функционал, который показывает зависимость выполнения системой задания от вложенных в каждую ее составляющую средств;

$P_{\text{зад}}$ – заданный уровень функционального совершенства.

Соотношения (9) могут рассматриваться как рациональная стоимостная (функционально-стоимостная) математическая модель многоагентной системы обработки аэронавигационной информации. Для ее использования необходимо определиться с достаточным уровнем функционального совершенства $P_{зад}$ системы. Этот уровень является заданной величиной. Кроме того, важно выяснить зависимость стоимости каждой части (агента) системы от ее параметров и получить существующие численные оценки стоимости этих частей. Решению данных проблем будут посвящены следующие исследования авторов.

Логичным завершением проводимого исследования является рассмотрение возможного интерфейса, который может быть использован для обмена информацией между элементами многоагентной системы.

Для передачи между структурными элементами многоагентной системы представляется целесообразным использовать программный комплекс ELSA, который оснащен удобным графическим интерфейсом пользователя и защищен многоуровневым паролем. Кроме того, ELSA соответствует ICAO DOC 8126, ICAO Annex 15, ICAO DOC 4444, ICAO Annex. 10 т. II, Приложение ICAO 3.

На рис. 2 представлен пример интерфейса для обмена информацией между элементами многоагентной системы, такими как агент аэронавигационных карт, агент формирования авиационной базы данных, агент уведомления для летчиков об обстановке, агент информационных бюллетеней.

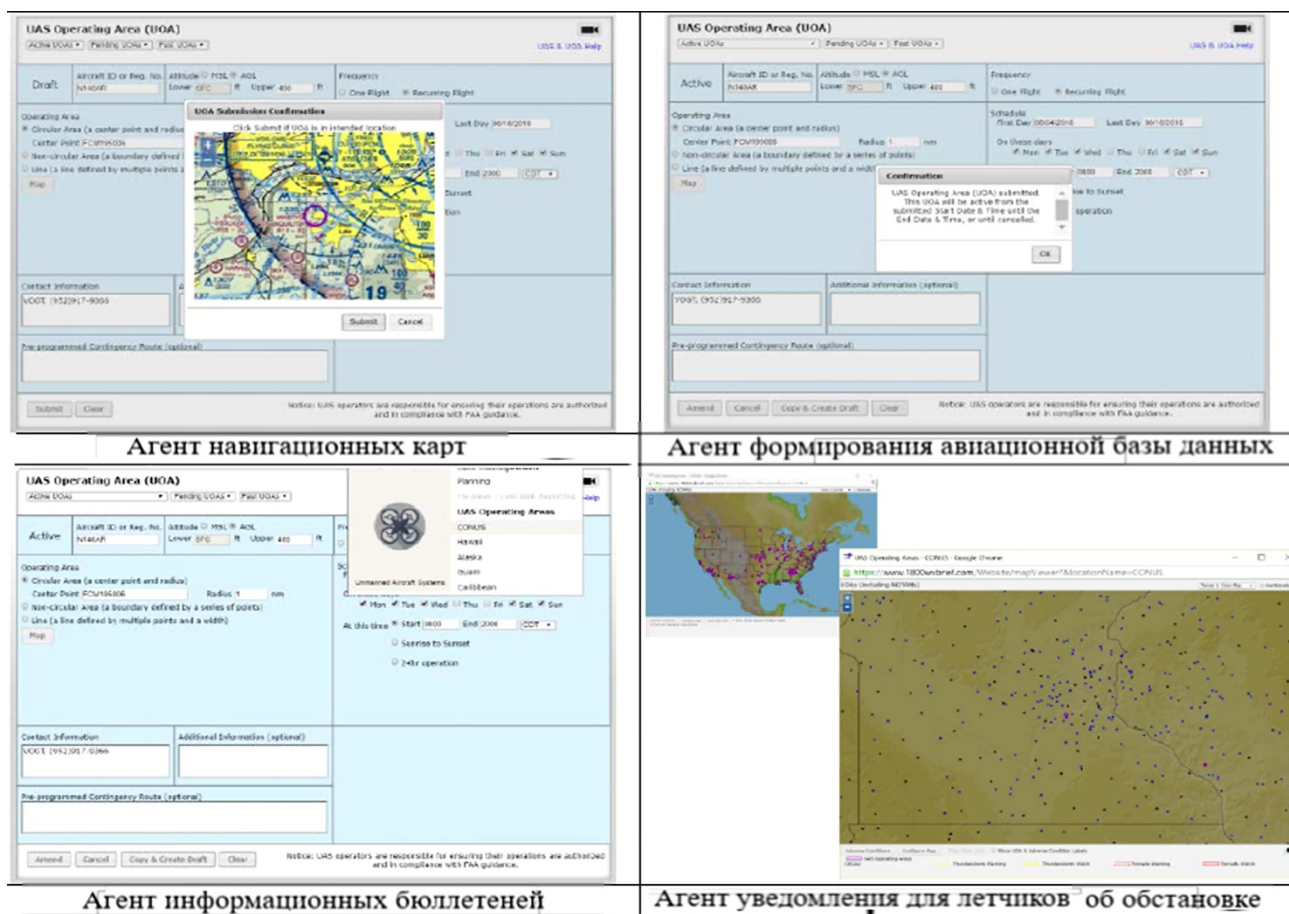


Рис. 2. Пример интерфейса для обмена аэронавигационной информацией
Fig. 2. The interface example for aeronautical information exchange

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная в статье агентная многоуровневая модель позволяет реализовывать автоматическую обработку аэронавигационной информации в конфигурации «пользователь информации – процесс – среда» и основывается на интеграции современных информационных технологий накопления и анализа данных. Использованный при ее построении агентно ориентированный подход интеллектуальной обработки данных дает возможность обеспечить параллельное выполнение операций на уровнях пользователей аэронавигационной информацией, процесса ее накопления, сбора и анализа, среды обращения, а также дает возможность распределять разработку необходимых решений между специализированными агентами, управлять знаниями, организовывать переходы между процессами проактивного управления и обеспечивать интеграцию различных информационных систем, методов, режимов подготовки и анализа данных в пределах одной модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Masloboev A.V.** A technology for dynamic synthesis and configuration of multi-agent systems of regional security network-centric control // *Reliability & Quality of Complex Systems*. 2020. No. 3 (31). P. 112–120. DOI: 10.21685/2307-4205-2020-3-13
2. **Wang Q.** Improved multi-agent reinforcement learning for path planning-based crowd simulation / Q. Wang, H. Liu, K. Gao, L. Zhang // *IEEE access: practical innovations, open solutions*, 2019. Vol. 7. P. 73841–73855. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2920913
3. **Nejati A., Soudjani S., Zamani M.** Compositional abstraction-based synthesis for continuous-time stochastic hybrid systems // *European Journal of Control*. 2021. Vol. 57. P. 82–94. DOI: 10.1016/j.ejcon.2020.04.001
4. **Pasaoglu C.** Hybrid systems modeling and automated air traffic control for three-dimensional separation assurance / C. Pasaoglu, B. Baspinar, N.K. Ure, G. Inalhan // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part G. Journal of aerospace engineering*. 2016. Vol. 230, no. 9. P. 1788–1809. DOI: 10.1177/0954410015619443
5. **Liu D.** Deep reinforcement learning aided packet-routing for aeronautical ad-hoc networks formed by passenger planes / D. Liu, J. Cui, J. Zhang, Ch. Yang, L. Hanzo // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2021. Vol. 70, no. 5. P. 5166–5171. DOI: 10.1109/TVT.2021.3074015
6. **Самойлов В.А., Степанов Ф.М.** Перспективные методы построения вылетного потока в автоматизированных системах управления воздушным движением // *Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации*. 2020. № 4 (29). С. 108–120.
7. **Sun F., Lei C., Kurths J.** Consensus of heterogeneous discrete-time multi-agent systems with noise over Markov switching topologies // *International Journal of Robust and Nonlinear Control*. 2021. Vol. 31, no. 5. P. 1530–1541. DOI: 10.1002/rnc.5360
8. **Chao Y., Ji Zh.** Necessary and sufficient conditions for multi-agent controllability of path and star topologies by exploring the information of second-order neighbours // *IMA Journal of Mathematical Control and Information*. 2021. Vol. 38, no. 1. P. 1–14. DOI: 10.1093/imamci/dnw013
9. **Горященко А.С.** Применение мультиагентной системы для решения задачи формирования групп агентов // *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2019. № 4. С. 70–77. DOI: 10.14357/20718594190408
10. **Luo Q., Wang J., Liu Sh.** AeroMRP: a multipath reliable transport protocol for aeronautical ad hoc networks // *IEEE Internet of Things Journal*. 2019. Vol. 6, no. 2. P. 3399–3410. DOI: 10.1109/IJOT.2018.2883736
11. **Durak U.** *Advances in aeronautical informatics: technologies towards Flight 4.0.* / U. Durak, J. Becker, S. Hartmann, N.S. Voros. 1st ed. Cham: Springer, 2018. 345 p. DOI: 10.1007/978-3-319-75058-3

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Эшмурадов Дилшод Эльмурадович, академик Академии наук Турон, кандидат технических наук, доцент кафедры метрологии, стандартизации, сертификации Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова, e_dilshod69@mail.ru.

Элмурадов Темурмалик Дилшодович, старший преподаватель кафедры информационных технологий Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова, e_dilshod69@mail.ru.

Тураева Насиба Мирхамидовна, соискатель кафедры компьютерных систем Ташкентского университета информационных технологий имени Мухамада Аль-Хоразми, t.nasiba@gmail.com.

AUTOMATION OF AERONAUTICAL INFORMATION PROCESSING BASED ON MULTI-AGENT TECHNOLOGIES

Dilshod E. Eshmuradov¹, Temurmaliq D. Elmuradov¹, Nasiba M. Turayeva²

¹*Islam Karimov State Technical University, Tashkent, the Republic of Uzbekistan*

²*Muhammad al-Khwarizmi University of Information Technologies, Tashkent, the Republic of Uzbekistan*

ABSTRACT

Progress in the development of computer engineering provides an opportunity to address a wider variety of challenges using computer software systems. The task of automatic aeronautical navigation information processing is referred to the number of such issues. This stipulates the necessity to adopt new approaches to design and develop similar systems. One of these approaches is based on the application of the collective activity idea of a set of agents – multi-agent technologies. In this regard, the purpose of the article is to consider the features of the automated aeronautical navigation information processing implementation on the basis of multi-agent technologies. To achieve this goal, the problem-structural methodology of hybrid systems synthesis, which allows us to create self-organizing models, was selected. Each element of which develops, obtaining data and knowledge from other elements. In the research process, a formal definition of the multi-agent system of automatic aeronautical information processing is presented, which involves a set of agents, environment of agent functioning, a set of permissible relations between agents, description of rules for forming a network of agents, a set of individual and joint actions, communication interactions, behavior and actions strategies, a possibility of system evolution. Furthermore, an emphasis is placed on the description of each agent. For this purpose, the authors propose to use four elements: a set of variables, inputs and outputs, an autonomous technique that performs appropriate changes over a set of variables. As agents, the paper comes up with the idea to use the following: Pilots Notification Agent, Preflight Information Bulletin Agent, Data Generation Agent, Aviation Processes Agent, Aviation Database Generation Agent, Aeronautical Maps Creation Agent, Aeronautical Data Set Export/Import Agent, Publications and References Agent. In addition, the article presents the multi-agent system diagram of automated aeronautical information processing and describes in detail processing an application in the agent using the mathematical expression. The results, obtained in the course of investigations, can be used to improve the effectiveness of the analytical component in the structure of the system to form the direct and reverse coordination relationship while solving aerial navigation problems.

Key words: automation, processing, multi-agent system, air navigation, process, environment.

REFERENCES

1. **Masloboev, A.V.** (2020). *A technology for dynamic synthesis and configuration of multi-agent systems of regional security network-centric control*. Reliability & Quality of Complex Systems, no. 3 (31), p. 112–120. DOI: 10.21685/2307-4205-2020-3-13
2. **Wang, Q., Liu, H., Gao, K. and Zhang, L.** (2019). *Improved multi-agent reinforcement learning for path planning-based crowd simulation*. IEEE access: practical innovations, open solutions, vol. 7, p. 73841–73855. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2920913

3. Nejadi, A., Soudjani, S. and Zamani, M. (2021). *Compositional abstraction-based synthesis for continuous-time stochastic hybrid systems*. European Journal of Control, vol. 57, p. 82–94. DOI: 10.1016/j.ejcon.2020.04.001
4. Pasaoglu, C., Baspinar, B., Ure, N.K. and Inalhan, G. (2016). *Hybrid systems modeling and automated air traffic control for three-dimensional separation assurance*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part G. Journal of aerospace engineering, vol. 230, no. 9, p. 1788–1809. DOI: 10.1177/0954410015619443
5. Liu, D., Cui, J., Zhang, J., Yang, Ch. and Hanzo, L. (2021). *Deep reinforcement learning aided packet-routing for aeronautical ad-hoc networks formed by passenger planes*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 70, no. 5, p. 5166–5171. DOI: 10.1109/TVT.2021.3074015
6. Samoilov, V.A. and Stepanov, F.M. (2020). *Promising methods of departure flow construction in automated air traffic control systems*. Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoj aviatsii, no. 4 (29), p. 108–120. (in Russian)
7. Sun, F., Lei, C. and Kurths, J. (2021). *Consensus of heterogeneous discrete-time multi-agent systems with noise over Markov switching topologies*. International Journal of Robust and Non-linear Control, vol. 31, no. 5, p. 1530–1541. DOI: 10.1002/rnc.5360
8. Chao, Y. and Ji, Zh. (2021). Necessary and sufficient conditions for multi-agent controllability of path and star topologies by exploring the information of second-order neighbours. IMA Journal of Mathematical Control and Information, vol. 38, no. 1, p. 1–14. DOI: 10.1093/imamci/dnw013
9. Goryashchenko, A.S. (2019). *Using of multi-agent system for solving agents group formation problem*. Artificial Intelligence and Decision Making, no. 4, p. 70–77. DOI: 10.14357/20718594190408
10. Luo, Q., Wang, J. and Liu, Sh. (2019). *AeroMRP: a multipath reliable transport protocol for aeronautical ad hoc networks*. IEEE Internet of Things Journal, vol. 6, no. 2, p. 3399–3410. DOI: 10.1109/JIOT.2018.2883736
11. Durak, U., Becker, J., Hartmann, S. and Voros, N.S. (2018). *Advances in aeronautical informatics: technologies towards Flight 4.0*. 1st ed. Cham: Springer. 345 p. DOI: 10.1007/978-3-319-75058-3

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dilshod E. Eshmuradov, Academician of the Academy of Sciences Turon, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Metrology, Standardization, Certification Chair, Islam Karimov State Technical University, Tashkent, the Republic of Uzbekistan, e_dilshod69@mail.ru.

Temurmalik D. Elmuradov, Senior Lecturer of the Information Technologies Chair, Islam Karimov State Technical University, Tashkent, the Republic of Uzbekistan, e_dilshod69@mail.ru.

Nasiba M. Turayeva, Doctoral Student of the Computer Systems Chair, Muhammad al-Khwarizmi University of Information Technologies, Tashkent, the Republic of Uzbekistan, t.nasiba@gmail.com.

Поступила в редакцию 20.08.2021
Принята в печать 25.01.2022

Received 20.08.2021
Accepted for publication 25.01.2022