

СИСТЕМНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ СООБЩЕНИЙ И БАЗЫ ДАННЫХ АЭРОДРОМНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МАРШРУТОВ РУЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

М.А. Сочнева
Н.И. Сельвесюк

masochneva@gosniias.ru
nis@gosniias.ru

ГосНИИАС, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрена актуальная проблема повышения безопасности и эффективности наземного движения воздушных судов на аэродромах за счет автоматизации построения маршрутов руления в бортовом оборудовании. Традиционные методы голосовой коммуникации между диспетчером и экипажем, а также ручной ввод диспетчером инструкций приводят к навигационным ошибкам, снижающим общую безопасность и эффективность наземного движения. Кроме того, на аэродроме наблюдается плотное движение воздушных судов по рулежным дорожкам, часто в непосредственной близости друг от друга. При такой ситуации от экипажа требуется высокая точность и своевременное реагирование, тем самым повышается риск возникновения конфликтов или столкновений. В совокупности перечисленные факторы существенно снижают безопасность и эффективность наземных операций, что обуславливает необходимость внедрения автоматизированных систем с цифровой передачей данных и автоматизированным построением маршрутов руления. Предложена концепция интеграции цифровой связи диспетчер–пилот и аэродромной картографической базы данных в бортовых вычислительных системах летательных аппаратов для обеспечения автоматизированного построения маршрутов руления. Предложена модификация известного алгоритма A^* для графа на основе аэродромной маршрутной сети

Ключевые слова

Связь диспетчер–пилот по линии передачи данных, база данных аэродромной инфраструктуры, автоматизированное руление, алгоритм A^ , ситуационная осведомленность, бортовые вычислительные системы*

Поступила 30.12.2025
Принята 24.04.2026
© Автор(ы), 2026

Введение. Важной задачей в процессе эксплуатации воздушного судна (ВС) является обеспечение безопасного и эффективного руления по аэродрому. Современные исследования показывают, что значительный процент авиационных происшествий и инцидентов фиксируется на этапах руления, взлета и посадки, что обусловлено низкой степенью автоматизации по сравнению с движением в воздухе, высокой плотностью наземного и воздушного потоков, сложностью метеорологических условий и человеческим фактором [1, 2].

Особое значение приобретают инциденты, вызванные несанкционированным занятием взлетно-посадочных полос (ВПП), потерей ориентации на территории аэродрома и выкатыванием ВС за пределы ВПП. Международные авиационные организации, например Международная организация гражданской авиации (ИКАО), активно занимаются разработкой новых стандартов и рекомендаций для технологий, направленных на минимизацию риска возникновения авиапроисшествий указанных типов. Причинами таких инцидентов являются отсутствие у пилотов полноты информации о разрешенном маршруте, а также необходимость удерживать в памяти сложные инструкции диспетчера, передаваемые по радио [3]. Дополнительный риск возникает при использовании устаревших карт, прокладывании маршрутов вручную, частой смене указаний от диспетчера управления воздушным движением (УВД). Ключевым направлением развития в данной области является внедрение современных автоматизированных систем и комплексных предупреждающих устройств в бортовые системы ВС, что повышает общий уровень безопасности передвижения ВС по земной поверхности.

Актуальность задачи обусловлена необходимостью снижения числа ошибок пилотирования за счет цифрового обмена и переходом к автоматизированным системам.

Цель настоящей работы — представить результаты интеграции цифровых сообщений диспетчер–пилот и базы данных аэродромной инфраструктуры в единый контур, в котором формализованные электронные сообщения автоматически соотносятся с объектами карты, обеспечивая точное, наглядное и верифицируемое построение маршрутов руления. Такая интеграция снижает вероятность неоднозначного понимания команд, ускоряет согласование и повышает безопасность за счет геопривязки указаний к структуре аэродрома.

Обзор технологий. Связь диспетчер–пилот по линии передачи данных CPDLC (Controller-Pilot Data Link Communications) представляет собой систему цифровой связи между диспетчером и экипажем ВС,

предназначенную для обмена текстовыми электронными сообщениями в целях управления воздушным движением. Связь CPDLC дополняет традиционную голосовую связь, снижая нагрузку на радиоканалы и минимизируя риски неправильного восприятия команд. Основная функция CPDLC заключается в обмене сообщениями, содержащими разрешения на изменение маршрута, запросы и подтверждения, при одновременном сохранении возможности использования голосовой связи для передачи указаний повышенного приоритета [4]. В проектах Европейской научно-исследовательской программы по модернизации управления воздушным движением SESAR (Single European Sky ATM Research Programme) продемонстрированы функции, которые связаны с CPDLC на этапе руления в зоне аэродрома, и их валидация в контуре систем для УВД, однако интеграция с бортовой визуализацией и автоматической алгоритмической интерпретацией маршрутов оставалась ограниченной [5].

Функциональная архитектура CPDLC основана на концепции диалога — последовательности сообщений между диспетчером и пилотом, относящихся к конкретной транзакции [6]. Особый интерес для автоматизации процессов руления представляет применение CPDLC для наземных операций. Такой тип сообщений расширяет функциональность операции руления, обеспечивая цифровую передачу разрешений на руление между диспетчером и экипажем.

Ключевыми элементами таких сообщений являются: маршрут руления в виде последовательности элементов аэродрома (рулежных дорожек, точек удержания и др.); ограничивающие точки маршрута — точки, в которых ВС должно остановиться до получения дальнейшего разрешения.

База данных аэродромной инфраструктуры AMDB (Aerodrome Mapping DataBase) — это структурированная цифровая карта аэродрома, представляющая собой упорядоченную и стандартизированную базу данных, включающую в себя важнейшие элементы инфраструктуры: рулежные дорожки, перроны, стоянки и зоны ожидания. База данных AMDB обеспечивает географическое и навигационное представление аэродрома, необходимое для автоматизации процессов руления и построения маршрутов, также является ключевым источником данных для бортовых навигационных приложений и наземных систем управления, повышая ситуационную осведомленность при рулении и уменьшая риск пространственной дезориентации экипажа.

Наибольший интерес в рамках текущей задачи представляет аэродромная наземная маршрутная сеть ASRN (Aerodrome Surface Routing Network). Сеть ASRN — это модель замкнутого ориентированного графа,

формируемая на основе данных AMDB и предназначенная для вычисления и визуализации маршрутов руления ВС. Вершины сети ASRN соответствуют пересечениям рулежных дорожек и другим ключевым точкам аэродромной инфраструктуры, а ребра — направленным или двунаправленным соединениям между ними, имеющим геометрические характеристики для графического отображения маршрута.

Такая сеть обеспечивает выполнение ключевых функций: построение непрерывного маршрута руления, его передачу в машиночитаемом формате для использования бортовыми и наземными системами, а также отображение маршрута на электронной карте аэродрома.

В литературе рассматриваются вопросы цифровизации процессов управления движением ВС на земле, а также алгоритмические методы построения маршрутов с учетом сложной структуры аэродромной инфраструктуры. Однако интеграция CPDLC и AMDB в единую бортовую систему с реализацией интерактивной визуализации остается мало исследованной [7–14].

Отдельно CPDLC и AMDB имеют ограничения, обусловленные природой и назначением каждой технологии: CPDLC не предназначена для передачи срочных голосовых команд, а служит для отправки формализованных текстовых сообщений, которые обычно несут несрочную разрешительную или информационную нагрузку; AMDB имеет ряд ограничений, связанных с точностью и своевременностью обновления данных, совместимостью форматов и ограниченной детализацией объектов. Обновления происходят с задержкой, что может вызывать рассогласования с реальной инфраструктурой [15–19].

Интеграция CPDLC и AMDB объединяет их преимущества, позволяя преодолеть эти ограничения. Электронные сообщения CPDLC обеспечивают оперативный и надежный обмен управленческой информацией, а структурированная карта AMDB способствует наглядному отображению маршрутов и точному позиционированию. Это создает эффективную платформу, где данные из CPDLC используются для динамического построения и корректировки маршрутов на основе карты AMDB. Такая синергия повышает безопасность, снижает нагрузку на радиоканалы, минимизирует ошибки и ускоряет процесс управления движением на аэродроме, открывая новые возможности для инновационных систем автоматизации и поддержки принятия решений.

Постановка задачи. Для реализации задачи используются данные аэродромной маршрутной сети ASRN, представляющей собой граф с вершинами

(узловые точки инфраструктуры) и ребрами (допустимые пути движения), входящими в состав AMDB.

Формально задача формулируется как поиск оптимального пути в графе ASRN:

- входные данные — структурированное сообщение по линии CPDLC, т. е. сообщение с начальными, конечными и промежуточными участками в порядке их прохождения, а также данными AMDB (геометрия и атрибуты объектов);

- выходные данные — непрерывный маршрут руления, представленный как последовательность сегментов;

- ограничения — строгое соответствие порядку движения, полученному из команд УВД; исключение острых углов по направлению движения, нагрузки на дорожное полотно, повторного съезда на стоянку; сведение к минимуму участков проезда по ВПП; минимизация стоимости пути.

Математическая модель. Интеграция основана на формальном сопоставлении семантики сообщений CPDLC с топологией и объектной моделью AMDB, что обеспечивает автоматизированную трансформацию текстовых указаний в геопривязанные маршруты на уровне рулежных дорожек, мест стоянки, пересечений и точек ожидания. Сообщения классов разрешений, указаний и подтверждений ассоциируются с идентификаторами соответствующих сегментов и узлов аэродромной сети, после чего формируется маршрут для отображения и контроля на бортовых средствах индикации. Тем самым формируется единый информационный контур, в котором команда, объект карты и траектория согласованы и синхронно доступны всем участникам управления [20].

Аэродромная сеть моделируется ориентированным графом $G = (V, E)$, где вершины V соответствуют узловым точкам инфраструктуры (пересечения, точки ожидания, въезды/выезды на стоянки), а ребра E соответствуют допустимым сегментам движения с атрибутами геометрии и направлений, извлекаемыми из элементов инфраструктуры аэродрома, ассоциированных с ребрами графа. Алгоритм построения маршрута использует модификацию алгоритма A^* для графа аэродромной маршрутной сети ASRN [21].

Задача заключается в поиске оптимального маршрута $P^* = [V_0, V_1, \dots, V_m]$, начинающегося на стартовой вершине $V_0 = s$ и заканчивающегося в целевой вершине $V_m = n$, минимизирующего суммарные затраты. Оптимальное построение маршрута реализуется с использованием алгоритма A^* , основанного на функции оценки:

$$f(n) = g(n) + h(n),$$

где $g(n) = \sum_{k=1}^m W_{V_{k-1} V_0}$ — суммарный вес маршрута от стартовой вершины s до n , $W_{V_{k-1} V_0}$ — вес (стоимость перехода) между смежными вершинами на рассматриваемом пути; $h(n)$ — эвристическая оценка целевого функционала.

В рамках текущей задачи эвристическая оценка до цели содержит следующие ограничения.

1. Штраф за несоответствие маршруту, указанному в CPDLC сообщении. Если текущее ребро не входит во множество ребер, задаваемое полученным сообщением, то вводится штраф

$$C_{\text{CPDLC}}(e_{ij}, S) = \begin{cases} w, & \text{если } e_{ij} \in S; \\ 10w, & \text{если } e_{ij} \notin S, \end{cases}$$

где S — множество ребер, определенных сообщением.

2. Штраф за острые углы. Если угол θ между соседними ребрами превышает допустимый предел (например, 85, 100, 180°, в зависимости от сценария), то за соответствующий поворот вводится штраф

$$C_{\text{CPDLC}}(e_{ij}, \theta) = \begin{cases} w, & \text{если } |\theta| \leq \theta_{\max}; \\ 7w, & \text{если } |\theta| > \theta_{\max}. \end{cases}$$

3. Штраф за несоответствие инфраструктурным ограничениям аэродрома. Если рассматриваемое ребро не соответствует типу или статусу из полигональных данных AMDB, то к функции добавляется штраф

$$C_{\text{type}}(e_{ij}) = \begin{cases} w, & \text{если разрешенный тип ребра;} \\ 5w, & \text{если иначе.} \end{cases}$$

К ребрам разрешенных типов относятся:

- ребра, которые имеют состояние элемента «открыто» (т. е. рулежная дорожка, парковка и другие элементы аэродромной инфраструктуры, которые не находятся, например, на ремонте);
- ребра, имеющие требуемое направление (элементы сети могут быть одно- или двунаправленными);
- ребра с кодом, выражающим несущую способность искусственного покрытия для эксплуатации без ограничений в рамках типа ВС (в зависимости от сценария).

Общая формула эвристической оценки целевого функционала имеет следующий вид:

$$h(n) = C_{\text{CPDLC}}(e_{ij}, S) + C_{\text{turn}}(e_{ij}, \theta) + C_{\text{type}}(e_{ij}).$$

В алгоритме для обеспечения оптимальности выбирается допустимая эвристика, которая не переоценивает истинную стоимость пути, т. е. $f(n) \leq f^*(n)$, где $f^*(n)$ — минимальная стоимость маршрута от стартовой вершины s до n .

Если все возможные маршруты $P^* = [p_0, p_1, \dots, p_m]$ уже построены, то для выбора кратчайшего маршрута следует применить следующие критерии.

1. Для каждого маршрута, где $p_i^* = [v_0^i, v_1^i, \dots, v_{m_i}^i]$, вычисляется суммарная стоимость

$$c(p_i) = \sum_{j=1}^m w_{v_{j-1} v_j}.$$

2. Минимальное значение стоимости объявляется как функция выбора

$$C_{\min} = \min_{1 \leq i \leq N} C(p_i).$$

Следовательно, алгоритмически сравниваются стоимости маршрутов и выбирается путь с наименьшей суммарной стоимостью переходов.

Блок-схема алгоритма построения маршрута руления приведена на рис. 1. Инициализация включает в себя прием и декодирование сообщения от УВД с последующей проверкой корректности полученных данных, таких как идентификаторы начальной и конечной точки, их принадлежность графу и соответствие типам аэродромных объектов. При выявлении несоответствий обработка прекращается, исключая построение ошибочных маршрутов. После успешной валидации формируется внутренняя структура графа: матрица смежности, массивы меток расстояний и предков, а также вектор посещенности узлов.

Программная реализация. На основе приведенного исследования предлагается создать программный комплекс. В рамках настоящей работы разрабатывается ПО «Движение в зоне аэродрома» (Airport Moving Map, АММ), ориентированное на обеспечение экипажа наглядной картой аэродрома и маршрутными указаниями в режиме реального времени с использованием цифрового канала диспетчер–пилот.

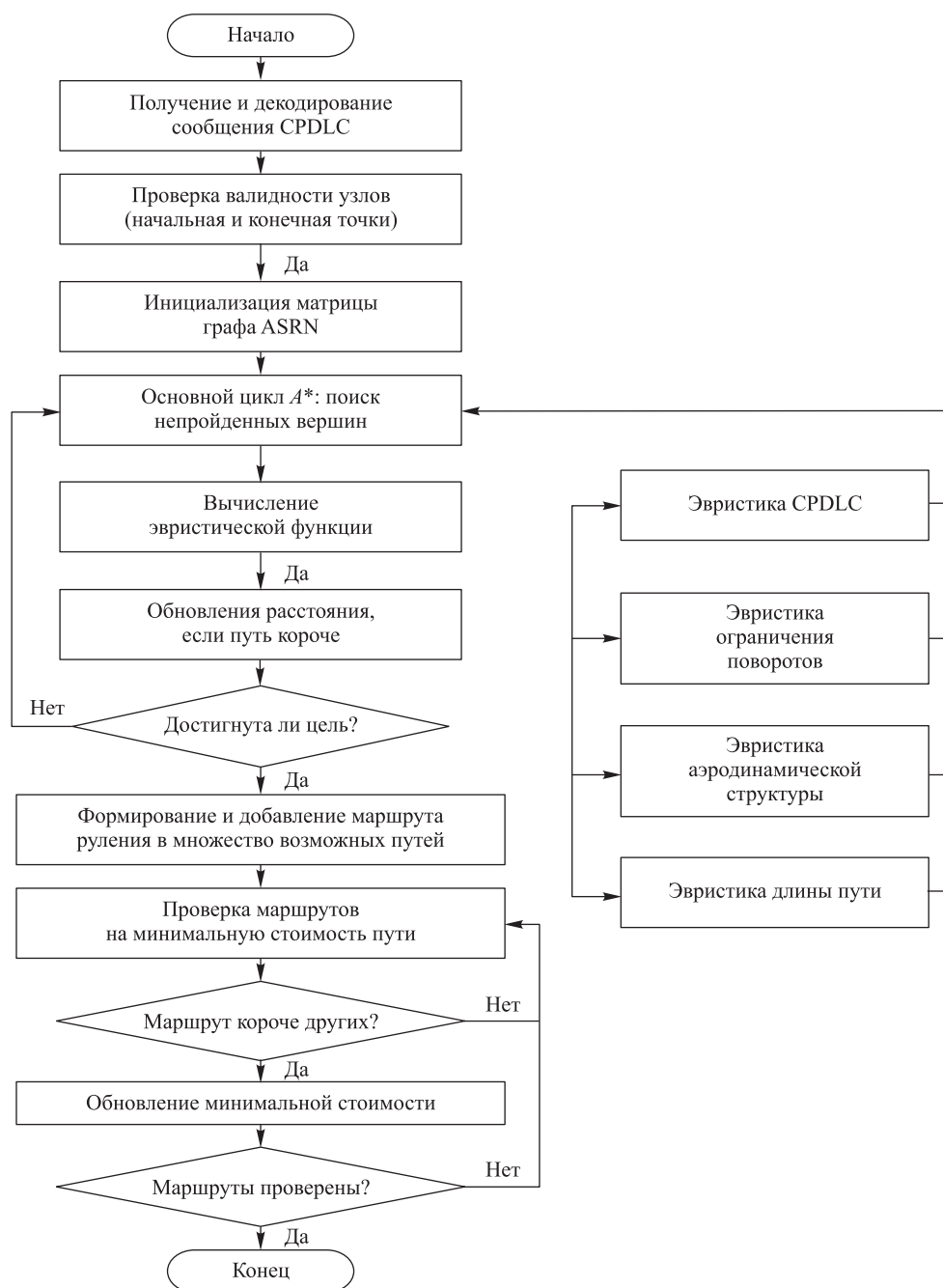


Рис. 1. Блок-схема алгоритма построения маршрута руления

Функция «Движение в зоне аэродрома» обеспечивает отображение полной структуры аэродромной поверхности (ВПП, рулежные дорожки, перроны, стоянки, терминалы и пр.) с текстовыми метками, выделением

выбранной ВПП/стоянки согласно данным вычислительной системы самолетовождения и полученному цифровому разрешению, а также с выводом служебных сообщений по выполняемым маневрам. Дополнительно предоставляются лимб компаса, сводные сведения об аэродроме и ВПП, что повышает ситуационную осведомленность и снижает когнитивную нагрузку на экипаж при рулении.

После поступления цифрового сообщения от УВД выполняется его автоматическая декодировка с последующей нормализацией в формализованное представление, пригодное для интерпретации алгоритмом построения маршрута руления. На основе извлеченных структурированных атрибутов формируется маршрут, который передается экипажу для визуализации в модуле индикации кабины ВС.

Кадр индикации неподтвержденного маршрута руления на навигационном дисплее приведен на рис. 2. В центральной части экрана изображен

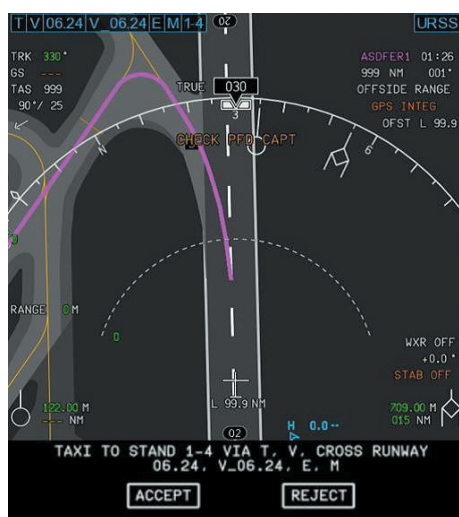


Рис. 2. Кадр индикации неподтвержденного маршрута руления на навигационном дисплее

лимб компаса — полуокружная шкала курсов с отметками направлений, по которой экипаж может визуально контролировать текущую ориентацию ВС относительно оси руления и ВПП. В левом верхнем углу отображены основные параметры движения по маршруту: TRK — путевой угол, GS — путевая скорость, TAS — истинная воздушная скорость, а также направление и скорость ветра. Дополнительно, в целях повышения эргономичности интерфейса, элементы маршрута продолжают отображаться в области интерфейса — в верхнем левом углу экрана навигационной карты, обеспечивая экипажу постоянный доступ к ключевой информации

без необходимости повторного запроса. В правом верхнем углу находится код ИКАО аэродрома. На начальном этапе визуализации маршрут отображается на навигационной карте аэродрома в виде фиолетовой линии, отражающей предложенный путь движения от текущего положения до точки выхода на ВПП или конечной стоянки. Одновременно в нижней части дисплея выводится текст расшифрованного CPDLC, полученного от диспетчера, сопровождаемый интерфейсными элементами для взаимо-

действия — кнопками ACCEPT и REJECT, позволяющими пилоту, проанализировав ситуацию, подтвердить или отклонить предложенный маршрут. Этот этап обеспечивает наглядное и формализованное представление управляющего воздействия, снижает вероятность интерпретационных ошибок и является неотъемлемой частью системы взаимодействия человек–машина в контексте цифровизации руления.

Пилот может ознакомиться с маршрутом руления и отправить свой ответ диспетчеру УВД. В случае отказа пилота от маршрута руления (нажатие на кнопку REJECT) карта аэродрома будет очищена от маршрута. В случае если пилот принимает маршрут руления (нажатие на кнопку ACCEPT), то активная линия маршрута перекрасится в зеленый цвет.

Построенный маршрут руления может использоваться не только для индикации, но и в качестве промежуточного звена между системой поддержки принятия решений на стороне диспетчерского пункта и системами автоматического или полуавтоматического управления на борту ВС. Обмен информацией реализуется по каналу CPDLC, где сообщения представляют собой формализованные управляющие команды, пригодные для алгоритмической интерпретации. Алгоритм автоматически интерпретирует структуру сообщения, полученного от УВД, выделяя:

- точку начала маршрута (сообразно с текущими координатами ВС);
- целевую точку маршрута (стоянка или ВПП для определения последующих процедур);
- сегменты маршрута в удобном для дальнейшего использования формате (например, леги в виде координат ключевых точек с определением принадлежности к прямой линии или повороту, разрешенной скорости руления, именовании для подсказок на маршруте и т. д.).

Каждый элемент цифровой коммуникации между УВД и ВС преобразуется в однозначное управляющее действие, интегрируемое в общий контур управления движением.

Заключение. В результате проведенного анализа выявлено, что интеграция формализованных цифровых сообщений CPDLC со структурированной аэродромной базой данных AMDB формирует единый контур поверхностных операций, в котором диспетчерские указания однозначно соотносятся с топологией аэродромной сети и немедленно визуализируются на бортовых средствах индикации. Связка сообщение–карта устраняет двусмысленности при голосовом обмене, снижает вероятность операционных ошибок и обеспечивает верифицируемое исполнение маршрутов руления при динамически меняющихся ограничениях инфраструктуры.

Результаты стендовых апробаций подтверждают устойчивый эффект по ключевым метрикам: рост точности геопривязки указаний и согласованности действий экипаж–диспетчер, уменьшение числа конфликтных ситуаций на пересечениях и вблизи ВПП, сокращение времени согласования и маршрутизации, а также уменьшение числа контактов с помощью радиообмена. Совокупно это ведет к увеличению пропускной способности поверхности и повышению уровня безопасности при высоких нагрузках.

Практическая реализуемость подхода опирается на стандартизованность обмена сообщениями с базой данных аэродромной инфраструктуры, что упрощает масштабирование решений в различных эксплуатационных условиях и интеграцию с существующей бортовой инфраструктурой. В то же время сохраняются вызовы, связанные с актуальностью данных AMDB, кибербезопасностью цифровых каналов, надежностью процедур подтверждения и необходимостью унификации человеко-машинных интерфейсов между поставщиками.

Перспективы развития включают в себя расширение набора контекстно-зависимых сценариев руления в логике сообщений, автоматизированные проверки непротиворечивости маршрутов на уровне топологии и ограничений, интеграцию с усовершенствованной системой управления наземным движением в аэропорту для прогнозно-конфликтного контроля, формирование единого аудита исполнения для последующего анализа инцидентов и оптимизации процедур.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Tuncal A., Erol U. Analyzing the new global reporting format from the pilot perspective. *IJAST*, 2024, vol. 5, no. 2, pp. 111–121.
DOI: <https://doi.org/10.23890/IJAST.vm05is02.0204>
- [2] Zhang X., Zhong S., Mahadevan S. Airport surface movement prediction and safety assessment with spatial-temporal graph convolutional neural network. *Transp. Res. C: Emerg. Technol.*, 2022, vol. 144, art. 103873. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103873>
- [3] Sheffield E., Lee S.-Y., Zhang Y. A systematic review of general aviation accident factors, effects and prevention. *J. Air Transp. Manag.*, 2025, vol. 128, art. 102859.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2025.102859>
- [4] Лобанова М., Степанов Ф. CPDLC — навстречу возможностям. *Air Traffic Control*, 2019, № 1, с. 30–33.
- [5] Лобанова М., Степанов Ф., Привалов А. Создавая будущее. *Air Traffic Control*, 2020, № 4, с. 36–39.
- [6] Žvinys J., Rudinskas D. Investigation of the application of CPDLC to aerodrome air traffic control. *Aviation*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 95–103.
DOI: <https://doi.org/10.3846/aviation.2023.19113>

- [7] Shen Y., Zhou P., Zheng Y., et al. Taxiing route planning for aircraft on airport surface considering conflicts with ground service vehicles. *J. Adv. Transp.*, 2025, vol. 95, pp. 165–184. DOI: <https://doi.org/10.1155/atr/7018472>
- [8] Lu L., Gao J. Research on aircraft taxiing path optimization based on digraph model and Dijkstra algorithm. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sc. Eng.*, 2021, vol. 143, art. 042045. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1043/4/042045>
- [9] Li B., Liu J., Zha Y., et al. An aircraft towing and taxiing system based on pilot control mode. *CAC*, 2022, pp. 6206–6211. DOI: <https://doi.org/10.1109/CAC57257.2022.10055161>
- [10] Von der Burg M.F., Sharpanskykh A. Modelling and analysis of autonomous airport surface movement operations based on multi-agent planning. *Eur. J. Transp. Infrastruct. Res.*, 2025, vol. 25, no. 1. DOI: <https://doi.org/10.59490/ejtir.2025.25.1.7459>
- [11] Guimarans D., Padron S. A stochastic approach for planning airport ground support resources. *Int. Trans. Oper. Res.*, 2022, vol. 29, no. 6, pp. 3316–3345. DOI: <https://doi.org/10.1111/itor.13104>
- [12] Dong D. Improved A* algorithm for intelligent navigation path planning. *Informati-ca*, 2024, vol. 48, no. 10. DOI: <https://doi.org/10.31449/inf.v48i10.5693>
- [13] Ba B., Yu Y., Wang R., et al. A new multiobjective A* algorithm with time window applied to large airports. *J. Adv. Transp.*, 2024, art. 7536217. DOI: <https://doi.org/10.1155/atr/7536217>
- [14] Saber S., Feron E. Optimized escape path planning for commercial aircraft formations. *J. Guid. Control Dyn.*, 2023, vol. 46, no. 11, pp. 2076–2091. DOI: <https://doi.org/10.2514/1.G007315>
- [15] Si W., Sun T., Song C., et al. Design and verification of a transfer path optimization method for an aircraft on the aircraft carrier flight deck. *Front. Inform. Technol. Electron. Eng.*, 2021, vol. 22, no. 9, pp. 1221–1233. DOI: <https://doi.org/10.1631/FITEE.2000251>
- [16] Zaninotto S., Gauci J., Zammit B. An autonomous tow truck algorithm for engineless aircraft taxiing. *Aerospace*, 2024, vol. 11, no. 4, art. 307. DOI: <https://doi.org/10.3390/aerospace11040307>
- [17] Liu Y., Hu M., Yin J., et al. Adaptive airport taxiing rule management: design, assessment, and configuration. *Transp. Res. C Emerg. Technol.*, 2024, vol. 163, art. 104652. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104652>
- [18] Zhang X., Zhong S., Mahadevan S. Airport surface movement prediction and safety assessment with spatial-temporal graph convolutional neural network. *Transp. Res. C Emerg. Technol.*, 2022, vol. 144, art. 103873. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103873>
- [19] Zhang M., Liu S., Li H. Multi-objective route planning for aircraft taxiing under different traffic conflict types. *J. Aerospace Comput. Inform. Commun.*, 2021, vol. 19, no. 7, pp. 1–19. DOI: <https://doi.org/10.2514/1.i010982>
- [20] Сочнева М.А., Шалов С.Ю., Попов Ю.С. и др. Построение маршрутов руления в зоне аэродрома по данным диспетчерской службы и аэродромной инфраструк-

туры. *Международ. науч.-техн. конф. «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества»*. М., МГТУГА, 2023, с. 499–500.

EDN: WXSMDR

Сочнева Марина Алексеевна — аспирант, инженер 2-й категории, ГосНИИАС (Российская Федерация, 125167, Москва, ул. Викторенко, д. 7).

Сельвесюк Николай Иванович — д-р техн. наук, профессор РАН, заместитель генерального директора — руководитель научного комплекса ГосНИИАС (Российская Федерация, 125167, Москва, ул. Викторенко, д. 7).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Сочнева М.А., Сельвесюк Н.И. Системная интеграция цифровых сообщений и базы данных аэродромной инфраструктуры для построения маршрутов руления воздушных судов. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2026, № 2 (155), с. 92–106. EDN: DADHBH

**SYSTEMIC INTEGRATION OF DIGITAL COMMUNICATIONS
AND DATABASES AIRPORT INFRASTRUCTURE
FOR TAXI ROUTE GENERATION**

M.A. Sochneva

N.I. Selvesyuk

masochneva@gosniias.ru

nis@gosniias.ru

GosNIIAS, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article discusses the current problem of improving the safety and efficiency of aircraft ground movement at aerodromes by automating taxi route generation in onboard equipment. Traditional methods relying on voice communication and manual entry of instructions contribute to navigation errors in situations of reduced situational awareness due to high crew workload, dense traffic, and complex aerodrome infrastructure. The aerodromes have a high traffic density of aircraft traffic on the taxiways, often in close proximity to each other. This situation requires high accuracy and timely response from the crew, increasing the risk of conflicts or collisions. These factors significantly reduce the safety and efficiency of ground operations, necessitating the implementation of automated systems with digital data transmission and automated taxi route generation. A concept is proposed to integrate Controller–Pilot Data Link Communications

Keywords

Controller–Pilot Data Link Communications, Aerodrome Mapping Database, Aerodrome Surface Routing Network, automated taxiing, A algorithm, situational awareness, onboard computing systems*

(CPDLC) and the Aerodrome Mapping Database (AMDB) within onboard computing systems to enable automated taxi route generation. To solve the problem, a modified A^* algorithm is introduced for a graph based on the Aerodrome Surface Routing Network (ASRN)

Received 30.12.2025

Accepted 24.04.2026

© Author(s), 2026

REFERENCES

- [1] Tuncal A., Erol U. Analyzing the new global reporting format from the pilot perspective. *IJAST*, 2024, vol. 5, no. 2, pp. 111–121.
DOI: <https://doi.org/10.23890/IJAST.vm05is02.0204>
- [2] Zhang X., Zhong S., Mahadevan S. Airport surface movement prediction and safety assessment with spatial-temporal graph convolutional neural network. *Transp. Res. C: Emerg. Technol.*, 2022, vol. 144, art. 103873. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103873>
- [3] Sheffield E., Lee S.-Y., Zhang Y. A systematic review of general aviation accident factors, effects and prevention. *J. Air Transp. Manag.*, 2025, vol. 128, art. 102859. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2025.102859>
- [4] Lobanova M., Stepanov F. CPDLC — towards opportunities. *Air Traffic Control*, 2019, no. 1, pp. 30–33.
- [5] Lobanova M., Stepanov F., Privalov A. Creating the future. *Air Traffic Control*, 2020, no. 4, pp. 36–39.
- [6] Žvinys J., Rudinskas D. Investigation of the application of CPDLC to aerodrome air traffic control. *Aviation*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 95–103.
DOI: <https://doi.org/10.3846/aviation.2023.19113>
- [7] Shen Y., Zhou P., Zheng Y., et al. Taxiing route planning for aircraft on airport surface considering conflicts with ground service vehicles. *J. Adv. Transp.*, 2025, vol. 95, pp. 165–184. DOI: <https://doi.org/10.1155/atr/7018472>
- [8] Lu L., Gao J. Research on aircraft taxiing path optimization based on digraph model and Dijkstra algorithm. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sc. Eng.*, 2021, vol. 143, art. 042045.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1043/4/042045>
- [9] Li B., Liu J., Zha Y., et al. An aircraft towing and taxiing system based on pilot control mode. *CAC*, 2022, pp. 6206–6211.
DOI: <https://doi.org/10.1109/CAC57257.2022.10055161>
- [10] Von der Burg M.F., Sharpanskykh A. Modelling and analysis of autonomous airport surface movement operations based on multi-agent planning. *Eur. J. Transp. Infrastruct. Res.*, 2025, vol. 25, no. 1. DOI: <https://doi.org/10.59490/ejtir.2025.25.1.7459>
- [11] Guimarans D., Padron S. A stochastic approach for planning airport ground support resources. *Int. Trans. Oper. Res.*, 2022, vol. 29, no. 6, pp. 3316–3345.
DOI: <https://doi.org/10.1111/itor.13104>
- [12] Dong D. Improved A^* algorithm for intelligent navigation path planning. *Informatica*, 2024, vol. 48, no. 10. DOI: <https://doi.org/10.31449/inf.v48i10.5693>

- [13] Ba B., Yu Y., Wang R., et al. A new multiobjective A^* algorithm with time window applied to large airports. *J. Adv. Transp.*, 2024, art. 7536217. DOI: <https://doi.org/10.1155/atr/7536217>
- [14] Saber S., Feron E. Optimized escape path planning for commercial aircraft formations. *J. Guid. Control Dyn.*, 2023, vol. 46, no. 11, pp. 2076–2091. DOI: <https://doi.org/10.2514/1.G007315>
- [15] Si W., Sun T., Song C., et al. Design and verification of a transfer path optimization method for an aircraft on the aircraft carrier flight deck. *Front. Inform. Technol. Electron. Eng.*, 2021, vol. 22, no. 9, pp. 1221–1233. DOI: <https://doi.org/10.1631/FITEE.2000251>
- [16] Zaninotto S., Gauci J., Zammit B. An autonomous tow truck algorithm for engineless aircraft taxiing. *Aerospace*, 2024, vol. 11, no. 4, art. 307. DOI: <https://doi.org/10.3390/aerospace11040307>
- [17] Liu Y., Hu M., Yin J., et al. Adaptive airport taxiing rule management: design, assessment, and configuration. *Transp. Res. C Emerg. Technol.*, 2024, vol. 163, art. 104652. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104652>
- [18] Zhang X., Zhong S., Mahadevan S. Airport surface movement prediction and safety assessment with spatial-temporal graph convolutional neural network. *Transp. Res. C Emerg. Technol.*, 2022, vol. 144, art. 103873. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103873>
- [19] Zhang M., Liu S., Li H. Multi-objective route planning for aircraft taxiing under different traffic conflict types. *J. Aerospace Comput. Inform. Commun.*, 2021, vol. 19, no. 7, pp. 1–19. DOI: <https://doi.org/10.2514/1.i010982>
- [20] Sochneva M.A., Shalov S.Yu., Popov Yu.S., et al. [Construction of taxiing routes in the aerodrome area based on the data of dispatch service and aerodrome infrastructure]. *Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. "Grazhdanskaya aviatsiya na sovremennom etape razvitiya nauki, tekhniki i obshchestva"* [Int. Sc.-Tech. Conf. "Civil Aviation at the Modern Stage of Development of Science, Technology and Society"]. Moscow, MGTUGA Publ., 2023, pp. 499–500 (in Russ.). EDN: WXSMDR

Sochneva M.A. — Post-Graduate Student, Engineer of the 2nd Category, GosNIIAS (Viktorenko ul. 7, Moscow, 125319 Russian Federation).

Selvesyuk N.I. — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the RAS, Deputy General Director–Head of the Scientific Complex GosNIIAS (Viktorenko ul. 7, Moscow, 125319 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Sochneva M.A., Selvesyuk N.I. Systemic integration of digital communications and databases airport infrastructure for taxi route generation. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2026, no. 2 (155), pp. 92–106 (in Russ.). EDN: DADHBH