



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)

На правах рукописи

A handwritten signature in black ink, which appears to read "Van Junychzhou".

Van Жуньчжоу

**МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКЕ**

Специальность 2.9.8 – Интеллектуальные транспортные системы

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Зырянов Владимир Васильевич

г. Ростов-на-Дону

2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ И ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ	12
1.1 Концепция интеллектуальной транспортной системы	12
1.2 Развитие интеллектуальных транспортных систем в мире	14
1.3 Развитие и внедрения интеллектуальных транспортных систем в Китае.....	21
1.3.1 История и инновация развития интеллектуальных транспортных систем в Китае.....	21
1.3.2 Стратегии интеллектуальных транспортных систем в Китае.	24
1.4 Понятие архитектуры интеллектуальных транспортных систем.....	28
1.5 Сервис ИТС.....	31
Выводы по главе.....	48
ГЛАВА 2. ОБЗОР МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ АРХИТЕКТУР ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ	49
2.1 Основные принципы разработки архитектуры интеллектуальных транспортных систем	49
2.2 Метод разработки архитектуры интеллектуальных транспортных систем	50
2.2.1 Процессно-ориентированный метод построения	50
2.2.2 Методы объектно-ориентированного построения	54
2.3 Нормативное описание архитектурных элементов ИТС.....	61
2.4 Метод разработки архитектуры интеллектуальных транспортных систем Китая	69
Выводы по главе.....	78
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА РЕГИОНАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ	79
3.1 Обзор региональной архитектуры ИТС	79
3.2 Связь между региональной архитектурой и национальной архитектурой	81
3.3 Подходы к разработке региональной архитектуры ИТС.....	83
3.4 Региональный проект развития архитектуры ИТС на примере Пекина.....	85

3.4.1 Основное содержание	87
3.4.2 Пример подробного контента.....	89
Выводы по главе.....	93
ГЛАВА 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ АРХИТЕКТУРЫ КООПЕРАТИВНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ	94
4.1 Особенности кооперативных интеллектуальных транспортных систем и их архитектуры	94
4.2 Особенности кооперативных интеллектуальных транспортных систем и их архитектуры	99
4.3 Платформа кооперативных интеллектуальных автомагистралей	122
4.3.1 Прикладной контекст платформы К-ИТС.....	122
4.3.2 Анализ необходимости реализации проекта К-ИТС	126
4.3.3 Общий подход к проектированию платформы кооперативных интеллектуальных автомагистралей.....	127
4.3.4 Физическая архитектура платформы К-ИТС управления интеллектуальными тоннелями	129
4.4 Валидация архитектуры кооперативных интеллектуальных транспортных систем (К-ИТС) осуществлена на основе моделирования в различных сценариях.....	134
Выводы по главе.....	152
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	154
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	156

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. По состоянию на 31 декабря 2024 года общая численность населения Китайской Народной Республики (КНР) достигла 1,40828 млрд человек. Увеличение количества заторов на дорогах, сложности с обеспечением мобильности и рост числа дорожно-транспортных происшествий оказывают существенное влияние на социально-экономическое состояние современного общества, негативным образом сказываются на повседневной жизни людей [1,2]. В этом контексте создание интеллектуальной системы информации о дорожном движении, повышение потенциала экономического развития города, эффективное улучшение инвестиционной среды, разработка планов управления городским модернизированным дорожным движением и использование передовых технических средств для достижения научного управления стали главным приоритетом в строительстве управления городским дорожным движением [3,4,5]. В настоящее время одним из самых перспективных способов решения транспортных проблем является внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) [6].

Китайская программа «Строительство транспортной державы» предусматривает активное развитие интеллектуальных транспортных систем, стимулирование интеграции новых технологий, таких как большие данные, интернет, искусственный интеллект и блокчейн с транспортной отраслью и направлена на продвижение транспортного развития за счет ресурсов данных, ускорение интеграции транспортной инфраструктурной сети, сети транспортных сервисов, энергосетей и информационных сетей, создание всеобщей и передовой инфраструктуры транспортной информации. Строительство комплексной системы больших данных о транспорте и продвижение применения навигационной системы Beidou. Интеллектуальные транспортные системы быстро развиваются в Китае. В настоящее время в крупных городах, таких как Пекин, Шанхай и Гуанчжоу, построены передовые интеллектуальные транспортные системы [6]. Например, в Пекине созданы четыре основные системы ИТС: система управления дорожным движением, система управления и диспетчеризации общественного транспорта,

система управления скоростными автомагистралями и система управления в чрезвычайных ситуациях. В Гуанчжоу установлены три основные системы ИТС: основная платформа для обмена информацией о дорожном движении, информационная платформа логистики и статическая система управления дорожным движением [6]. С развитием технологий интеллектуальные транспортные системы будут становиться всё более популярными, особенно в городах второго и третьего уровней, где население обычно составляет от 5 до 10 миллионов человек.

Одним из приоритетных условий при создании ИТС является разработка архитектуры для системной реализации функций и процессов до того, как приступают к проектированию и строительству ИТС. Архитектура ИТС позволяет устраниить такие типичные ситуации, когда внедряются отдельные невзаимосвязанные элементы ИТС. Однако и научные исследования, и практика обычно рассматривают архитектуру ИТС изолированно от общего процесса развития ИТС. Фактически как российский, так и китайский опыт показывают, что ИТС создаются практически на директивной основе, когда жестко указывается какие компоненты и подсистемы должны внедряться. Недооценка важности качественной архитектуры ИТС является достаточно распространенной ошибкой, когда без проработки архитектуры приступают к этапам проектирования и реализации. На 16-ом Всемирном конгрессе по интеллектуальным транспортным проблемам приводилась информация, что проектные показатели достигаются только по 32% ИТС, частично достигаются в 44% проектов и не достигаются в 24% проектов.

Актуальность архитектуры ИТС возрастает синхронно с увеличением количества различных приложений и функциональных направлений в транспортно-дорожном комплексе, умных городах и в повседневной жизни людей. Поэтому сохранение подхода к архитектуре как к некоторой детализированной типичной структуре не обеспечит ожидаемую эффективность. Акцент должен делаться не только на компонентах и технических средствах ИТС, но главным образом на потоках данных, которыми должны обмениваться эти компоненты как между собой, а также с внешней средой до уровня индивидуальных пользователей. Одним из ключевых аспектов архитектуры ИТС является создание интегрированной

информационной платформы, способной обрабатывать и анализировать большие объемы данных, поступающих из различных источников, в реальном времени [9,10]. Это позволяет эффективно управлять дорожным движением, оптимизировать использование транспортной инфраструктуры и обеспечивать безопасность на дорогах. Важным аспектом архитектуры ИТС также является её социальная и экологическая устойчивость. Разработка системы должна учитывать интересы всех заинтересованных сторон, включая городские власти, общественные организации, предприятия общественного транспорта, частных пользователей и экспертов в области городского планирования и транспортной инфраструктуры [11,12].

В заключение, разработка архитектуры интеллектуальных транспортных систем представляет собой важное направление исследований в области современной городской инженерии и планирования. Это не только позволит эффективно решать текущие проблемы в области дорожного движения и мобильности, но и способствует созданию устойчивых и интеллектуальных городов будущего [1].

Степень разработанности темы исследования.

Научным и практическим разработкам по интеллектуальным транспортным системам и организации дорожного движения в России, Китае и других странах, а также снижению аварийности и заторовых ситуаций на улично-дорожной сети посвящены труды таких ученых, как Агуреев И.Е., Власов В.М., Донченко В.В., Дорохин С.В., Душкин Р.В., Евстигнеев И.А., Евтуков С.А., Евтуков С.С., Ерёмин С.В., Жанказиев С.В., Зырянов В.В., Клявин В.Э., Новиков А.Н., Новиков И.А., Пугачев И.Н., Сильянов В.В., Трофименко Ю.В., Шевцова А.Г., Ван С., Ван Ч., Лю Д., Лю Х., Мэн Т., Чжан К., Чжан Ц., Ци Т., Цой Д., Барсело Х., Даганзо К., Махмассани Х. и другие, результаты которых были использованы при выполнении исследований.

Научные исследования и практические разработки в области ИТС в Китае и за рубежом в основном фокусируются на отдельных сервисах и функциях, таких как управление дорожным движением, обработка данных, оптимизация маршрутов и т.д. Однако, не в полной мере учитывается системный подход к разработке архитектуры ИТС, в соответствии с которым компоненты должны предоставлять сервисы, необходимые конечным пользователям, последовательным и согласованным образом.

Анализ проблемы с точки зрения научных исследований позволяет выявить ряд ключевых недостатков в существующих методах и подходах. Например, отсутствие единого стандарта для разработки архитектуры ИТС приводит к фрагментации и недостаточной совместимости различных компонентов системы. Кроме того, недостаточное внимание уделяется вопросам кибербезопасности и защиты данных, что создает риски для стабильной работы системы.

Для решения этих проблем необходимо разработать комплексную архитектуру ИТС, которая бы учитывала все аспекты транспортной инфраструктуры, включая городскую среду, технологические требования, потребности пользователей и вопросы кибербезопасности. Это позволит создать более эффективные и устойчивые интеллектуальные транспортные системы, способные эффективно управлять дорожным движением, снижать аварийность и улучшать качество поездки населения.

Цель диссертационной работы: развитие методов разработки архитектуры ИТС как инструмента управления процессом создания интеллектуальной транспортной системы.

Задачи исследования:

1. Анализ существующих подходов к разработке архитектуры интеллектуальных транспортных систем с выделением классификационных признаков как на уровне межгосударственной, национальной архитектур ИТС, так и на уровне основных методов разработки архитектуры ИТС; научно-технической литературы по данной проблеме в различных странах и существующих методов разработки архитектуры ИТС ;

2. Обоснование методов разработки архитектуры интеллектуальных транспортных систем и их применения в КНР;

3. Разработка архитектуры ИТС, которая обеспечивает взаимодействие и синергию между различными транспортными элементами — транспортными средствами, инфраструктурой и информационными системами — для повышения безопасности, управляемости транспортных потоков;

4. Создание физической архитектуры платформы кооперативной ИТС (К-ИТС) управления интеллектуальными тоннелями и валидации К-ИТС на основе

моделирования в различных сценариях.

Объект исследования: Архитектуры интеллектуальных транспортных систем.

Предмет исследования: Методы разработки архитектуры интеллектуальных транспортных систем.

Рабочая гипотеза:

Использование метода разработки процессно-ориентированной архитектуры для создания архитектуры К-ИТС на основе национальной архитектуры ИТС может повысить эффективность ИТС.

Научная новизна исследования:

1. Определены новое содержание и последовательность создания архитектуры ИТС по функциональным признакам сложности разработки, модульности физической архитектуры, требованиям моделирования логической архитектуры, условиям обслуживания и обновления, методам анализа потоков данных;

2. Разработан алгоритм разработки логической и физической архитектур ИТС, адаптированный к практике КНР дополненный совокупностью приложений, использованием больших данных для новых сервисов и обратными связями между приложениями и сервисами;

3. Предложены методические рекомендации по созданию архитектуры кооперативных интеллектуальных транспортных систем (К-ИТС) в контексте национальной архитектуры ИТС Китая с использованием процессно-ориентированного метода с описанием иерархии логических функций и диаграммы потоков данных функциональных домена платформы К-ИТС;

4. Определены параметры выбора маршрута на уровне микромоделирования в зависимости от доли подключенных автомобилей в диапазоне от 20 до 80%, определяющие вероятность выбора следования по назначенному маршруту, обеспечивающему снижение времени поездки.

Теоретическая значимость работы:

Теоретическая значимость работы заключается в развитии алгоритмов, методов и моделей создания архитектуры ИТС обеспечивающих системную реализацию функций и процессов ИТС.

Практическая значимость работы:

Практическая значимость работы заключается в формировании архитектуры для разработки К-ИТС по управлению дорожным движением. Полученные результаты имеют прикладной характер и используются для решения практических задач управления дорожным движением в КНР.

Методы исследования:

Диссертационная работа выполнена на основе результатов научных исследований, трудов ведущих ученых России, КНР и других стран в области интеллектуальных транспортных систем.

Положения, выносимые на защиту:

1. Классификация методов разработки архитектуры ИТС, включающая характеристики анализа сервисов ИТС, сложности моделирования архитектуры, модульности, условий обновления;
2. Алгоритмы разработки архитектуры логической и физической архитектур ИТС, адаптированные к практике КНР, включающие условия разработки региональной архитектуры в соответствии реалиями конкретных регионов, обеспечивая при этом их согласованность и интеграцию в общенациональную систему ИТС;
3. Логическая архитектура кооперативной ИТС на основе национальной архитектуры ИТС Китая с диаграммой потоков данных функционального домена и физическая архитектура платформы К-ИТС управления интеллектуальными тоннелями;
4. Параметры выбора маршрута на уровне микромоделирования, определяющие вероятность выбора следования по назначенному маршруту в зависимости от доли подключенных автомобилей.

Степень достоверности и апробация результатов.

Обоснованность и достоверность выносимых на защиту научных результатов обеспечиваются применением методики исследования на основе апробации результатов исследования на международных конференциях.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались

на научно-практических конференциях: VII Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте» (г. Орел, 2021); Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция «Актуальные проблемы науки и техники. 2021» (г. Ростов-на-Дону, 2021); IX Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте», (г. Орел, 2023); International conference «Smart technologies for society, government, economy» (г. Ростов-на-Дону, 2023); Международном научном форуме «Наука и инновации - современные концепции» (г. Москва, 2023); IV Международная конференция «Устойчивое и инновационное развитие в цифровом глобальном пространстве» (г. Ростов-на-Дону, 2024); X Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте» (г. Орел, 2024); Международная научно-практическая конференции «Интеллектуальные транспортные системы в дорожном комплексе» (ИТС-2024) (г. Ростов-на-Дону, 2024).

Информационная база исследования.

В качестве эмпирической и информативной базы исследования использованы статистические данные, характеризующие состояние развития ИТС в КНР и за рубежом, материалы технических изданий и периодической печати, методы системного и сравнительного анализа, статистических группировок, анализ первичной документации, статистической отчетности.

Личный вклад автора.

Автором сформулированы цели и задачи работы, определены и осуществлены направления теоретических исследований. Все основные результаты исследования и варианты разработки архитектуры интеллектуальных транспортных систем получены автором самостоятельно.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности.

Выполненные исследования отвечают формуле паспорта научной специальности 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы: пункт 2. Разработка методов анализа и синтеза интеллектуальных транспортных систем, их архитектуры,

алгоритмов создания, функционирования, диагностирования, восстановления работоспособности; пункт 12. Нормативное регулирование разработки и реализации интеллектуальных транспортных систем.

Публикации.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 8 научных работах, в том числе три в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, одна, входящая в международную реферативную базу Scopus и Web of Science.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, основных результатов и выводов, двух приложений, содержит 170 страницу, 11 таблиц, 35 рисунков. Библиографический список включает 102 наименования.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ И ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

1.1 Концепция интеллектуальной транспортной системы

Эффективность и безопасность функционирования транспортных сетей современных городов осуществляется путём широкого применения интеллектуальных транспортных систем (ИТС) [13,14].

ИТС представляет собой набор технологически и оперативно совершенных систем, которые при объединении и управлении могут повысить пропускную способность всей транспортной системы [15,16].

Мы считаем, что интеллектуальный транспорт должен в полной мере использовать 5G, Интернет вещей, пространственное восприятие, облачные вычисления, мобильный Интернет, большие данные, искусственный интеллект и другие новые коммуникационные и информационные технологии нового поколения во всей транспортной сфере и всесторонне применять транспортная инженерия, связь, компьютер, социология, психология и другие дисциплины, чтобы установить всестороннее восприятие, глубокую интеграцию, принятие научных решений и активное обслуживание и другие цели, посредством динамического восприятия информации в реальном времени, моделирования дорожной инфраструктуры, всеобъемлющей информации о дорожном движении[17,18]. Объединение данных, корреляционный анализ больших данных и другие системы принятия решений [19,20]. Сервисная система формирует модели обнаружения проблем, анализа проблем и принятия решений, а также предоставляет возможности оптимизации распределения отраслевых ресурсов, возможности публичного принятия решений и управления отраслью для таких сценариев, как строительство и техническое обслуживание дорожной инфраструктуры, инспекция дорожного движения, управление дорожным движением, управление дорожным движением и транспортные перевозки. Способность, общественные сервисы и другие возможности способствуют строительству и обслуживанию транспортной инфраструктуры, интеллектуальному обслуживанию, интеллектуальному

управлению транспортом, удобству транспортировки, плавности, безопасности и защита окружающей среды, а также способствовать преобразованию и модернизации отраслей, связанных с транспортом [21,22,23].

Разработка интеллектуальных транспортных систем требует стратегического консенсуса в различных отраслях и областях, а также стремления сформировать совместные усилия в области технологических исследований и разработок и инвестиций в инфраструктуру для достижения системной совместимости, безопасности и надежности, упорядоченной конкуренции и экономии за счет масштаба.

Междисциплинарная интеграция и межотраслевые совместные инновации в области НИОКР стали важным путем современного научно-технического прогресса. Чтобы способствовать углубленной разработке и применению интеллектуальных транспортных систем, необходимо продвигать друг друга с помощью технологий связи нового поколения, облачных вычислений, больших данных, моделирования и других областей, а также объединять их для формирования реалистичных сценариев приложений и возглавить направление развития новых технологий. Интеллектуальные транспортные технологии и промышленная система с высокоуровневым автономным вождением в качестве культовой технологии и конечной цели развития, как типичная область междисциплинарных и межотраслевых совместных инноваций, обеспечивают новый путь для Китая для повышения всесторонней силы научных и технологических инноваций и общую конкурентоспособность отрасли [24, 26,27].

1.2 Развития интеллектуальных транспортных систем в мире

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) как важное направление развития современных транспортных систем получила широкое внимание во всем мире. Интеллектуальные транспортные системы имеет очевидные характеристики, связанные с национальными условиями, отраслью и регионом. Развитие новых технологий постоянно придает жизнеспособность интеллектуальной транспортной системе и способствует инновационному развитию интеллектуального транспорта [25,27,29].

В конце 1960-х США начали исследования интеллектуальных транспортных систем, а позже к ним присоединились Европа и Япония. Первый проект ИТС, запущенный в США, электронная система навигации по маршруту (ERGS), является самым ранним научно-исследовательским проектом ИТС в мире. В 1980-х годах Департамент транспорта Калифорнии успешно разработал путеводитель для водителей. В 1990-х годах велась разработка «интеллектуальной системы автомобиль-дорога» [31,35,38]. В августе 1990 года была создана специальная национальная организация IVHS American для консультирования правительства и непосредственной организации деятельности. С тех пор в Соединенных Штатах (США) начались исследования, разработка и развертывание скоординированной и единой интеллектуальной системы автомобильных дорог. В настоящее время насчитывается более 300 членов. С 1992 года значительно увеличилась инвестиционная квота. В 1997 году инвестиции достигли 800 миллионов долларов США. Развитие ИТС в Соединенных Штатах быстро выросло всего за несколько лет, и масштабы развития также распространились на всю систему, включая смешанные железнодорожные и автомобильные перевозки. Поэтому в конце 1994 года Министерство транспорта США переименовало «Интеллектуальную транспортно-дорожную систему» (IVHS) в «Интеллектуальную транспортную систему» (ИТС) [36,37].

Начало развития отдельных элементов ИТС в Азии можно отнести к 1970 году. Япония - первая страна, которая провела исследование ИТС. Еще в 1990 году Игучи

Масаичи из Японии назвал Интеллектуальную транспортную систему (ИТС), а Юэ Чжэнъи предложил использовать ИТС (именуемую IVHS в США и RTI в Европе) в качестве единого термина, чтобы ИТС можно было широко использовать в мире. 1970-е годы были начальным этапом исследований в области ИТС в Японии. В 1973 году министерство международной торговли и промышленности Японии инициировало комплексное исследование систем управления движением транспортных средств. Первая система, официально введенная в эксплуатацию в Японии, это интегрированная система управления автомобилем (CACS). В ходе эксперимента CACS они накопили опыт использования метода динамического ведения по маршруту и связанных с ним технологий городской сети автомобильных дорог, но из-за ограниченных условий он не получил широкого распространения. В начале 1980-х годов, после CACS, Япония создала центр управления дорожным движением по всей стране и учредила Японскую ассоциацию управления дорожным движением (JTMA). В 1988 году в Сингапуре была разработана система регулирования транспортных потоков на городских улицах с помощью индуктивных детекторов [39,40,47]. К середине 2000-х такие страны, как Япония, Южная Корея, Австралия, Сингапур, Китай и Малайзия, интегрировали национальные интеллектуальные центры управления дорожным движением на городском общественном транспорте и автомагистралях [42,45].

Уровень автоматизации управления дорожным движением в Соединенных Штатах на некоторое время отстал от Японии и Европы, но часть проблемы затора на дорогах была решена за короткий период времени за счет строительства дорожных сетей. Когда она разовьется до определенного масштаба, нереально вкладывать большие деньги в масштабное дорожное строительство, чтобы в дальнейшем занимать большое количество земли под и без того огромную дорожную сеть. Поэтому в 1991 году Конгресс США принял «Комплексную программу повышения эффективности наземного транспорта», которая направлена на повышение эффективности всей дорожной сети за счет применения новых технологий и рационального распределения транспортных потоков. В 1994 году Соединенные Штаты предложили семь областей обслуживания, а именно отдельные подсистемы:

усовершенствованная система управления дорожным движением, система обслуживания пассажиров, система управления коммерческим транспортом, электронная система сбора платы за проезд, система управления общественным транспортом, система управления чрезвычайными ситуациями и система управления транспортными средствами [43,44]. В 2010 году США начали публиковать пятилетний стратегический план развития интеллектуальных транспортных систем (2010-2014 годы).

До сих пор проблема дорожного движения по-прежнему остается проблемой, от которой страдают страны во всем мире. Экономический спад, загрязнение окружающей среды, изменение климата и т. д. — все это заставляет нас повышать конкурентоспособность ИТС за счет эффективного использования ресурсов. Например, рассмотрим транспортную политику некоторых стран, направленную на внедрение и развитие ИТС.

Америка

Министерство транспорта США (USDOT) долгое время было лидером и сторонником интеллектуальной транспортной системы США (ИТС) на этапах исследований, разработки, применения и развертывания. В «стратегическом плане ИТС на 2015-2019гг» предлагаются следующие приоритеты, стратегические темы и категории проектов, и в рамках этих проектов будут проводиться его исследования, разработки и практическая деятельность. План был разработан с участием всех заинтересованных сторон в Министерстве транспорта США и за его пределами.

Стратегические приоритеты и темы

На основе импульса и успешных примеров прошлых и текущих исследований проводится работа в передовых областях будущих исследований ИТС, и были определены два основных стратегических приоритета. «Реализуйте применение Интернета транспортных средств» и «продвигайте автоматизацию». Первый приоритет основан на значительном прогрессе, достигнутом в разработке, тестировании и планировании Интернета транспортных средств по всей стране за последние годы. Второй приоритет - это разработка проектов, связанных с исследованиями, разработкой и применением технологий автоматизации.

Приоритеты отражают основные направления транспортных исследований и инноваций, но не исключают другие технологии или области исследований. По мере того, как социальная среда становится все более тесно связанной, ИТС и транспортные системы будут играть все более важную ключевую роль в развитии городов, поселков, пригородов, сельских районов, межрегиональных и трансграничного развития. Когда транспортная система используется как единое целое, она может достичь оптимального состояния и может дать менеджеру транспортной системы возможность извлекать эффективную информацию из различных факторов, влияющих на транспортный бизнес (таких как погода, планы специальных мероприятий и ответные меры). на непредвиденные ситуации). Приоритеты, темы и категории проектов, предложенные в этом плане, обеспечивают структуру методов исследования, на основе которых можно исследовать, разрабатывать и применять новые важные технологии [56,57].

Стратегические темы, как и приоритеты, определяют направление плана и стремятся интегрировать ИТС.

Исследование сосредоточено на разработке, тестировании и окончательном применении новых технологий и систем.

ожидаемый результат. Следующие темы соответствуют стратегическим приоритетам USDOT и включены в категорию проектов.

- 1) Создать более безопасный автомобиль и дорожную среду
- 2) Увеличить пропускную способность
- 3) Снижение или ограничение воздействия на окружающую среду
- 4) Содействовать инновациям
- 5) Поддержка обмена информацией о системе дорожного движения

В марте 2020 года Министерство транспорта США опубликовало Стратегический план интеллектуальной транспортной системы (ИТС) на 2020–2025 годы. Что касается планирования, стратегия ИТС предлагает шесть областей планирования, включая новые и поддерживающие технологии, кибербезопасность, доступ к данным и обмен ими, автономное вождение, полную поездку и ускоренное развертывание ИТС для содействия развитию полного жизненного цикла технологий

ИТС [59,60].

В целом ИТС США использует пятилетний план в качестве плана для разработки стратегии развития интеллектуального транспорта, и его видение и миссия имеют определенную преемственность и наследственность. Версия стратегии 2015 г. делает упор на автоматизацию транспортных средств и взаимосвязь инфраструктуры. Интероперабельность, версия стратегии 2020 г. изменена с упора на точечные прорывы в области автономного вождения и интеллектуального сетевого подключения на комплексную инновационную компоновку новых технологий, улучшая стратегию развития на основе жизненного цикла технологии, уделяя особое внимание содействию демонстрационному применению новых технологий во всем процессе разработка-внедрение-оценка [61,62].

Япония

Опираясь на существующие условия, Япония сделала новое развертывание для будущего развития интеллектуального транспорта с точки зрения национальной стратегии. Япония продолжает ускорять строительство интеллектуальной инфраструктуры, исследования и разработки в области коммуникационных технологий, модернизацию системы ETC2.0, а также совместный сбор, анализ и обслуживание информации о транспортных средствах и дорогах, а также ускорять рыночное применение беспилотных автомобилей в личных целях, логистические сервисы. и туристические сервисы [65,66].

1. Координация транспортных средств и дорог: технологические исследования и разработки и совместная работа идут рука об руку с упором на логистические перевозки и демонстрацию сервисов для групп, находящихся в неблагоприятном положении.

(1) Проведение базовых технологических исследований и разработок и совместная работа.

(2) Демонстрация совместного применения автомобиля и дороги.

2. Служба ETC2.0: содействие обмену информацией в режиме реального времени и службам приложений планирования оптимального пути посредством двусторонней связи с высокой пропускной способностью, включая функции помощи

при предотвращении заторов и функции помощи при безопасном вождении.

3. Применение технологии ИТС: использование передовых технологий и систем связи для достижения максимальной эффективности работы дорожной сети и безопасного вождения с помощью

(1) Система управления дорожным движением будет динамически предоставлять информацию в режиме реального времени, такую как заторы на дорогах и управление дорожным движением, в виде текста, простых графиков, карт и т. д., чтобы водители могли своевременно получать информацию о дорожном движении.

(2) Предоставлять водителям информацию о вождении для обеспечения безопасного вождения с помощью технического применения системы вспомогательного безопасного вождения.

(3) Применяя технологию предупреждения о движении задним ходом, можно достичь цели предотвращения несчастных случаев при движении задним ходом на скоростных автомагистралях.

Евросоюз (ЕС)

ЕС стремится сократить выбросы углерода в транспортном секторе на 90% к 2050 году. Для достижения этой цели ЕС ввел ряд политических мер, направленных на продвижение «зеленой» и цифровой трансформации транспортного сектора и создание устойчивой и интеллектуальной транспортной системы [63,69].

Европейская комиссия объявила о «Стратегии устойчивого и интеллектуального транспорта» и предложила план действий, состоящий из 82 инициатив, направленных на эффективное продвижение строительства экологически чистого и интеллектуального транспорта и стимулирование зеленого роста европейской экономики.

Всесторонне продвигать цифровую трансформацию транспортной системы. Цифровизация и автоматизация в транспортном секторе могут значительно повысить эффективность, безопасность и устойчивость, процесс, который зависит от применения новейших технологий в области больших данных, искусственного интеллекта и ИКТ. ЕС заявил, что создаст благоприятные условия для развития новых

технологий и сервисов и предоставит все необходимые законодательные инструменты.

«Стратегия устойчивого и интеллектуального транспорта» предлагает опираться на цифровые технологии для создания взаимосвязанной и общей онлайн-системы электронных билетов, а перевозка грузов также будет безбумажной. ЕС предлагает создать полностью функционирующую трансъевропейскую мультимодальную транспортную сеть для облегчения железнодорожных, воздушных, автомобильных и морских перевозок. Согласно плану, с 2021 года ЕС примет гибкий механизм продажи билетов, а к 2030 году создаст единую систему электронных билетов, чтобы упростить трансграничные сервисы по продаже билетов [71].

Что касается городского транспорта, ЕС увеличит развертывание интеллектуальных транспортных систем, включая системы навигации для транспортных средств, интеллектуальные системы парковки, общие автомобили и системы помощи водителю. В новой стратегии подчеркивается роль сетей 5G и дронов, и говорится, что эти две технологии будут в значительной степени способствовать оцифровке и интеллектуальности транспортных систем и приведут к новым транспортным решениям. ЕС планирует обеспечить бесперебойное покрытие сетью 5G на основных европейских линиях наземного транспорта к 2025 году и ускорить развертывание 5G по всей транспортной сети. Сочетание дронов и логистики меняет цепочку поставок городской логистики, помогая уменьшить количество дорожно-транспортных происшествий и заторов, а также повысить удобство поездок.

1.3 Развития и внедрения интеллектуальных транспортных систем в Китае

С конца 20 века Китай содействовал созданию и развитию интеллектуальных транспортных систем, отвечая стратегическим потребностям эффективного, безопасного, удобного и низкоуглеродного развития транспорта, исходя из национальных условий, и добился замечательных результатов за счет инноваций. В последние годы интеллектуальный транспорт в Китае вступает в новую стадию развития на фоне политической основы транспортной стратегии, цифрового строительства транспорта и построения комплексной трехмерной системы транспортной сети.

1.3.1 История и инновация развитии интеллектуальных транспортных систем в Китае.

Развитие интеллектуального транспорта в Китае в основном прошло следующие этапы развития:

(1) Стадия становления (1996–2000). В основном это происходит через международные обмены, чтобы узнать о концепции и международном развитии интеллектуальных транспортных систем, и он установил отношения сотрудничества с США, Японией и Европой в области интеллектуальных перевозок. В 2000 году в Министерстве науки и технологий Китая была создана «Координационная и руководящая группа по национальной интеллектуальной транспортной системе» при участии Министерства науки и технологий, Министерства строительства, Министерства транспорта, Министерству общественной безопасности и Министерству промышленности и информационных технологий для проведения исследования стратегии развития и стандартов интеллектуальных транспортных систем. Созданы «Архитектура интеллектуальных транспортных систем в Китае» и «Стандарт интеллектуальных транспортных систем в Китае», которые прояснили общее направление строительства и развития интеллектуальных транспортных систем в Китае [72].

(2) Начальный этап (2001–2005). Демонстрационные проекты интеллектуальных транспортных систем были созданы в 12 городах, включая Пекин, Шанхай, Гуанчжоу, Шэньчжэнь, Тяньцзинь и Циндао. Исследование и демонстрация применения ключевых технологий, таких как связь на малых расстояниях, помочь в обеспечении безопасности транспортных средств и общие информационные платформы на транспорте. способствовали созданию и развитию интеллектуальных транспортных систем в городах по всей стране.

(3) Базовый этап (2006–2010). Строительство интеллектуальных транспортных систем велось в крупных городах на всестороннем уровне, а интеллектуальные транспортные технологии широко применялись в качестве транспортных средств на крупных международных мероприятиях, таких как Олимпийские игры в Пекине, Всемирная выставка в Шанхае, Азиатские игры в Гуанчжоу и т. д. [6]. Многие города построили интеллектуальный общественный транспорт, скоростной общественный транспорт и т. д., чтобы обеспечить удобство разумного передвижения населения. Интеллектуальные транспортные операции и управление достигли замечательных результатов. Пекин-Тяньцзинь-Хэбэй, дельта реки Янцзы и другие регионы реализовали систему непрерывного электронного сбора платы за проезд по автомагистралям, а фундаментальные исследования и демонстрационные приложения интеллектуального транспорта позволили добиться ряда инновационных результатов.

(4) Инновационный этап (2011 ~ 2015). По всей стране всесторонне продвигается строительство интеллектуальных транспортных систем. В ответ на потребности приложений министерство транспорта и министерство общественной безопасности развернули и реализовали ряд интеллектуальных проектных проектов. Проект плавного потока и города общественного транспорта получили способствовал масштабному применению и промышленному развитию интеллектуальных транспортных систем. На данном этапе: «Основные научные проблемы загруженности дорог в больших городах», «Ключевые технологии для согласованного управления региональным движением в крупных городах», «Ключевые технологии для интеллектуальной координации автомобильно-дорожного движения», «Ключевые

технологии для восприятия состояния дорожного движения и интерактивной обработки» и «Ключевые технологии для интеллектуального управления и контроля интегрированных транспортных узлов», «Экологичная интеллектуальная технология управления движением», «Эффективное согласованное управление в многорежимной сети наземного общественного транспорта», «Ключевые технологии и демонстрация активного предотвращения и контроля дорожного движения в больших городах», «Интеграция и демонстрация технологии интеллектуального сетевого управления городским дорожным движением» и другие проекты национального научно-технического плана. Реализация китайской интеллектуальной транспортной инновационной системы способствовала формированию китайской интеллектуальной транспортной инновационной системы.

(5) Этап обновления (2016–2020). Новое поколение информационных технологий широко используется, и концепция, технический смысл и применение интеллектуальных транспортных систем претерпели изменения. В сочетании с требованиями приложений были улучшены технологии, применение и промышленный масштаб. Интернет + транспорт, интегрированные транспортные сервисы для совместной работы, большие данные, искусственный интеллект, Интернет транспортных средств, автономное вождение и системы взаимодействия между транспортными средствами и дорогами стали горячими точками интеллектуальных транспортных исследований и промышленного развития в этот период. В период «13-й пятилетки» в рамках национального плана ключевых исследований и разработок был создан специальный проект «Интегрированный транспорт и интеллектуальный транспорт». Было создано более 30 проектов по шести направлениям, включая интеллектуальная транспортная инфраструктура, интеллектуальная координация транспортных средств, надзор и координация транспортных операций, скоординированная работа крупномасштабных интегрированных узлов, интегрированные мультимодальные перевозки, региональные интегрированные транспортные сервисы, а также предотвращение и контроль рисков для безопасности, многие из которых сосредоточены на содержании, связанном с интеллектуальным транспортом.

(6) Переходный этап (с 2021 г. по настоящее время). В настоящее время развитие интеллектуальных транспортных систем вступило в качественно новый период. Новые технологии способствуют преобразованию транспортной отрасли. Перед интеллектуальным транспортом стоит ряд новых проблем и возможностей для развития. Преобразование и модернизация стали одной из основных тенденций. Столкнувшись с требованиями к качественному развитию транспортной отрасли в будущем, интеллектуальный транспорт также уделяет больше внимания таким областям, как экологический интеллектуальный транспорт и интеллектуальные туристические сервисы.

1.3.2 Стратегии интеллектуальных транспортных систем в Китае.

Акцент Китая на развитии интеллектуального транспорта заключается в содействии глубокой интеграции новых технологий, таких как большие данные, Интернет, искусственный интеллект, блокчейн и суперкомпьютеры, в транспортную отрасль. Содействовать развитию транспорта с использованием ресурсов данных, ускорить комплексное развитие сети транспортной инфраструктуры, сети транспортных сервисов, энергетической сети и информационной сети, а также создать передовую транспортную информационную инфраструктуру. Создайте комплексную транспортную систему большого центра обработки данных и продвигайте применение спутниковой навигационной системы Beidou.

Шесть стратегий для интеллектуальных транспортных систем

Основными задачами стратегии являются снижение загруженности дорог, повышение безопасности движения и предоставление качественных интеллектуальных транспортных сервисов.

Пункт 1: Платформа для обмена большими данными и применение транспортных облачных технологий

(1) Создание трехуровневых облачных платформ для обмена большими данными на национальном, провинциальном и муниципальном уровнях. обмен данными, совместное управление и интегрированные сервисы.

(2) Установить стандарты обмена большими данными и механизмы управления безопасностью, установить модели и механизмы открытого обмена большими данными между правительствами и предприятиями.

(3) Режим строительства: под руководством правительства, строительство предприятия, эксплуатация и техническое обслуживание.

(4) Анализ спроса на транспорт, оптимизация инфраструктуры и управления операциями, выявление потенциальной ценности больших данных о транспорте и создание научного механизма принятия решений на основе больших данных.

(5) Реализовать интеллектуальное организационное управление, такое как управление безопасностью движения, управление перегрузками и управление совместным использованием.

Пункт 2: Повышение уровня интеллектуального управления городским дорожным движением

(1) Использование интеллектуального транспорта в качестве средства инновационного интеллектуального и усовершенствованного управления городским транспортом на основе данных;

(2) Создать интеллектуальную систему управления дорожным движением, основанную на интеграции управления дорожным движением, управления, принятия решений и сервисов, поддерживаемых большими данными, которая объединяет связь между отделами и совместное управление и контроль;

(3) Использование больших данных, Интернет+, искусственного интеллекта и других технологий для внедрения новых моделей сервисов по управлению транспортом;

(4) Продвижение интеллектуального транспорта в некоторых областях, таких как точное соблюдение законов на основе больших данных и удобных интернет-сервисов, чтобы стать мировым лидером в области интеллектуального транспорта.

Пункт 3: Реализация эффективных и удобных интеллектуальных сервисов пассажирских перевозок и интеллектуальных грузовых перевозок «от двери до двери».

(1) Использование передовых технологий, таких как Интернет, большие данные,

электронные платежи и т. д., для реализации эффективных и удобных сервисов «от двери до двери» за счет интеллектуализации всех звеньев, таких как вождение, парковка, пересадка в узле, поездка в терминал, быстрое реагирование и индивидуальные сервисы;

(2) Построить грузовую облачную платформу с обменом информацией, полной прозрачностью и интеллектуальной управляемостью для реализации всей цепочки интегрированных информационных сервисов и транспортных сервисов грузовой логистики;

(3) Продвигать использование электронных транспортных накладных и устанавливать мультимодальные перевозки и совместное распределение товаров;

(4) Укреплять исследования, разработки и применение передовых технологий грузовых перевозок, а также содействовать исследованиям и применению беспилотных технологий в грузовых транспортных средствах.

Пункт 4: Повышение уровня активной безопасности дорожного движения

(1) Построение интеллектуальной системы анализа и оценки безопасности дорожного движения;

(2) Интеллектуальное совершенствование средств безопасности дорожного движения;

(5) повышение уровня безопасности транспортных средств, уровень интеллекта и улучшить техническое состояние транспортных средств;

Пункт 5: Комплексное развитие транспортных средств и дорог

Повышение эффективности дорожного движения, повышение безопасности дорожного движения и содействие энергосбережению и защите окружающей среды за счет координации транспортных средств и дорог;

Отдавать приоритет беспилотного вождения в автобусах и грузовых автомобилях дальнего следования. На рис. 1.1 изображено шесть этапов улучшения координации транспортных средств и дорог:



Рис. 1.1 - Шесть этапов улучшения координации транспортных средств и дорог

Пункт 6: Достижение выдающихся результатов в ключевых технологиях интеллектуального интегрированного транспорта.

(1) На основе платформы для обмена большими данными о транспорте создание национальной комплексной платформы интеллектуального мониторинга транспорта и интеллектуального принятия решений, охватывающую все виды транспорта, и реализовать связь с городской интеллектуальной платформой.

(2) Построение интеллектуальной транспортной системы нового поколения на основе навигационной системы Beidou. Сосредоточение на непрерывной навигации, службах определения местоположения, аварийно-спасательных службах и других областях, чтобы выполнить крупномасштабное применение системы Beidou в традиционной транспортной сфере и реализовать интеграцию инфраструктуры Beidou и операционных служб.

(3) Продвижение применения навигационной системы Beidou в интеллектуальном транспорте и создание системы мониторинга дорожного движения, управления, платных дорог, городского автобуса, парковки и аварийно-спасательных служб на основе навигационной системы Beidou.

1.4 Понятие архитектуры интеллектуальных транспортных систем

Неформальное определение

Архитектура интеллектуальной транспортной системы (ИТС) представляет собой набор представлений высокого уровня, позволяющих планировать интеграцию приложений и сервисов ИТС. Обычно она охватывает технические аспекты, а также связанные с ними организационные, юридические и деловые вопросы.

Архитектуры ИТС могут создаваться на национальном, региональном или городском уровне или относиться к конкретным секторам или сервисам. Они помогают гарантировать, что результирующее развертывание ИТС

- 1) можно логически спланировать;
- 2) успешно интегрируется с другими системами;
- 3) соответствует желаемому уровню производительности;
- 4) имеет желаемое поведение;
- 5) прост в управлении;
- 6) прост в обслуживании;
- 7) легко расширяется;
- 8) оправдывает ожидания пользователей.

Формальное определение

Архитектура ИТС — это концептуальный проект, определяющий структуру и/или поведение интегрированной интеллектуальной транспортной системы (ИТС).

Описание архитектуры — это формальное описание системы, организованное таким образом, чтобы поддерживать рассуждения о структурных свойствах системы. Он определяет системные компоненты или строительные блоки и предоставляет план, на основе которого можно закупать продукты и разрабатывать системы, которые будут работать вместе для реализации всей системы. Это может позволить управлять инвестициями так, чтобы это отвечало потребностям бизнеса [26].

Техническое определение

Таким образом, архитектура ИТС:

- 1) рамка верхнего уровня;

- 2) стратегический план дизайна;
- 3) недетерминированная структура;
- 4) указание на «Что необходимо», а не «Как это реализовать»;
- 5) отсутствие зависимости от технологии, срок службы архитектуры ИТС обычно больше, чем у любой конкретной технологии;
- 6) набор предположений верхнего уровня, минимально необходимый, а не максимально возможный.

Важность архитектуры ИТС

Как и другие очень сложные системы, интегрированные приложения ИТС нуждаются в стратегической структуре в качестве основы для выбора, касающегося их проектирования и развертывания, а также для принятия инвестиционных решений. Такая структура обычно называется системной архитектурой.

Возможность интеграции систем значительно увеличивает их потенциал. Становится все более важным, чтобы архитектуры ИТС соответствовали национальным архитектурам не только для обеспечения совместной работы приложений, но и для их совместимости на национальном уровне.

Функциональная совместимость охватывает технические, эксплуатационные и организационные аспекты и подразумевает гармоничное и взаимодополняющее функционирование всей системы.

В контексте управления дорожным движением при возникновении аварийных ситуаций, Центр управления дорожным движением должен выполнять ряд критически важных функций, обусловленных необходимостью обеспечения безопасности участников движения и эффективности дорожного потока. Согласно нормативным требованиям и рекомендациям в области транспортной инфраструктуры, основные задачи Центра включают:

- 1) Определение характера аварии: анализ и классификация аварии с целью определения её масштабов и потенциальных последствий для дорожного движения.
- 2) Оповещение экстренных служб: Незамедлительное информирование соответствующих экстренных служб для реализации оперативных мер реагирования.
- 3) Приоритет движения автомобилей экстренных служб на светофорах:

Регулирование светофорных объектов в пользу транспорта экстренных служб для ускорения их доступа к месту происшествия.

4) Изоляция зоны аварии: Ограничение доступа в зону аварии для обеспечения безопасности и предотвращения дополнительных происшествий.

5) Информирование работников общественного транспорта: своевременное предоставление информации о происшествии работникам общественного транспорта для адаптации маршрутов и графиков движения.

6) Организация объездов и консультации для водителей: разработка и предоставление альтернативных маршрутов для минимизации затора и содействие водителям в выборе оптимального пути проезда.

7) Предварительное информирование участников дорожного движения: распространение информации о дорожной ситуации и возможных изменениях в условиях движения с целью корректировки планов поездок участниками дорожного движения.

Эффективная координация дорожного движения требует оптимизированной передачи данных между задействованными системами. Интеграция этих систем позволяет автоматизировать обмен данными, обеспечивая своевременное реагирование на изменения дорожной ситуации. Это, в свою очередь, улучшает доступность информации для операторов общественного транспорта и водителей, а также способствует более эффективному использованию информационных технологий, таких как бортовые системы и мобильные приложения.

1.5 Сервис ИТС

Субъекты пользователи

В рамках Китайской национальной архитектуры ИТС субъекты пользователей в основном делятся на шесть категорий: участники дорожного движения, строители дорог, диспетчеры дорожного движения, руководители операций, отделы общественной безопасности и связанные с ними группы. Конкретное содержание субъектов пользователя, английские аббревиатуры полные имена на английском языке показаны в таблице 1.1[12].

Таблица 1.1 - Субъекты пользователей национальной архитектуры интеллектуальных транспортных систем КНР

Нумерация	Пользователь сервисов	Английские сокращения	Английский
U1	Участники дорожного движения	RU	Road User
U1.1	Пассажиры	P	Passengers
U1.2	Водители	D	Drivers
U1.2.1	Водители легковых автомобилей	CARD	Car Drivers
U1.2.2	Водители автобусов	BUSD	Bus Drivers
U1.2.3	Водители грузовиков	TD	Truck Drivers
U1.2.4	Водители мотоциклов	MD	Motorcycle Drivers
U1.2.5	Водители автомобильных служб	EVD	Emergency Drivers
U1.2.6	Водители военного Автомобили	MVD	Military Vehicle Drivers
U1.2.7	Специальные водители транспортных средств	XVD	Exclusive Vehicle Drivers
U1.2.8	Водители такси	TSD	Taxi Drivers
U1.3	Водители безмоторных транспортных средств	DNMV	Drivers of Non-Motorized Vehicle
U1.4	Пешеходы	PED	Pedestrians
U1.5	Пожилые, больные и инвалиды	DISU	Elderly,Sick and Disabled Road User
U2	Дорожные строители	RC	Road Constructors
U2.1	Строительство инфраструктуры	IC	Infrastructure Construction
U2.2	Обслуживание дорог	RM	Road Maintenance

U3	Транспортные администраторы	TM	Traffic Managers
U3.1	Администрация управления дорожным движением	TMD	Traffic Management Departments
U3.1.1	Администрация управления городским дорожным движением	UTM	Urban Traffic Management Departments
U3.1.2	Администрация управления дорожным движением шоссе	HTM	Highway Traffic Management Departments
U3.1.3	Администрация управление воздушным движением	ATC	Air Management Departments
U3.2	Администрация управления военными перевозками	MTM	Military Traffic Management Departments
U4	Эксплуатационные администраторы	OM	Operations Managers
U4.1	Администрация управления эксплуатацией дорог	ROM	Rood Operation Management Departments
U4.1.1	Администрация общественного транспорта города (включая легкое метро)	UPT	Urban Public Transport Departments (Including Light-Rail Transportation)
U4.1.2	Администрация автомобильного пассажирского транспорта	HPT	Higway Passenger Transport Departments
U4.1.3	Администрация перевозок грузов	FT	Freight Transport Departments
U4.2	Администрация железнодорожных эксплуатаций	ROM	Railway Operation management Departments
U4.2.1	Администрация железнодорожного пассажирского транспорта	RPM	Railway Passenger management Departments
U4.2.2	Администрация управления железнодорожными перевозками грузов	RFM	Railway Freight Management Departments

U4.3	Администрация управления воздушными эксплуатациями	AOM	Aerial Operation management Departments
U4.3.1	Администрация перевозка авиапассажиров	APT	Aerial Passenger management Departments
U4.3.2	Администрация авиаперевозок грузов	AFT	Aerial Freight Transport Departments
U4.4	Администрация управления эксплуатации водного транспорта	WTOM	Water Transport Operation management Departments
U4.4.1	Администрация водного пассажирского транспорта	WPT	Water Passenger Transport Departments
U4.4.2	Администрация водного перевозок грузов	WFT	Water Freight Transport Departments
U5	Администрация общественной безопасности и обеспечения	PSS	Public Security and safety Departments
U5.1	Администрация общественной безопасности	PS	Public Security Departments
U5.2	Пожарные подразделения	FIRE	Fire Fighting Departments
U5.3	Центры скорой помощи	FAC	First-Aid centers
U5.4	Отделы помощи при стихийных бедствиях	DR	Disaster Relief Departments
U6	Связанные организации	RO	Related Organizations
U6.1	Правительство	GOV	Government
U6.2	Академические учреждения	AI	Academic Institutions
U6.3	Администрация планирования	PD	Planning Departments
U6.4	Администрация охраны окружающей среды	EP	Environment Protection Departments

Субъекты сервисов

В архитектуре национальной ИТС субъекты обслуживания в основном делятся на девять категорий, а именно: центры управления дорожным движением, отделы пассажирских перевозок, поставщики сервисов информации о дорожном движении, отделы управления чрезвычайными ситуациями, отделы управления

инфраструктурой, поставщики сервисов по перевозке грузов, продукты / оборудование, правоохранительные органы. Конкретное содержание, английская аббревиатура и полное английское название субъекта сервисы показаны в таблице 1.2 [12].

Таблица 1.2 - Субъекты сервисов национальной архитектуры интеллектуальных транспортных систем КНР

Нумерация	Название	Английские сокращения	Английский
SP1	Центры управления дорожным движением	TMC	Traffic Management Centers
SP1.1	Центры управления городским дорожным движением	UTMC	Urban Traffic Management Centers
SP1.2	Центры управления дорожным движением	HTSC	Highway Traffic Management Centers
SP1.3	Центры управления междугородним движением	IUTMC	Inter-Urban Traffic Management Centers
SP2	Подразделение пассажирских перевозок	PT	Passenger Transport
SP2.1	Операторы городского общественного транспорта (включая легкорельсовый транспорт)	UPTO	Urban Public Transport Operators (Including Light-Rail)
SP2.2	Операторы междугородного общественного транспорта	IUPTO	Inter-urban Public Transport Operators
SP2.3	Пересадочные узлы	IJ	Interchange Junctions
SP2.4	Поставщик железнодорожных пассажирских перевозок	RPTP	Railway Passenger Transport Provider
SP2.5	Поставщик авиапассажирских перевозок	APTP	Air Passenger Transport Provider
SP2.6	Поставщик водного	WPTP	Water Passenger Transport

	пассажирского транспорта		Provider
SP2.7	Поставщик сервисов такси	TSP	Taxi Service Provider
SP3	Поставщик сервисов дорожной информации	TISP	Traffic Information Service Provider
SP3.1	Поставщик статической информации о транспорте	STIP	Static Traffic Information Provider
SP3.2	Поставщик динамической информации о дорожном движении	DTIP	Dynamic Traffic Information Provider
SP4	Аварийное управление	EM	Emergency Management
SP4.1	Центры управления городскими аварийными ситуациями	UEMC	Urban Emergency Management Centers
SP4.2	Центры управления аварийными ситуациями на дорогах	HEMC	Highway Emergency Management Centers
SP4.3	Центры пожарной помощи	FFC	Fire Fighting Centers
SP4.4	Центры скорой медицинской помощи	FAC	First Aid Centers
SP4.5	Отдел обращения с опасными материалами	HMM	Hazardous Materials Management Department
SP5	Департамент управления инфраструктурой	IM	Infrastructure Management Department
SP5.1	Специалисты по обслуживанию инфраструктуры	IMT	Infrastructure Maintainers
SP5.2	Инфраструктурные менеджеры	IMG	Infrastructure Managers
SP5.3	Поставщики платежных систем	PFP	Payment Facility Providers
SP5.3.1	Поставщики платных дорог, мостов и тоннелей	TFP	Toll-Collection Facility Providers for roads, bridges and channels
SP5.3.2	Поставщики платной парковки	CFP	Charge Facility Providers for parking lots

SP6	Поставщики сервисов грузовых перевозок	FTSP	Freight Transport Service Providers
SP6.1	Поставщики автомобильных грузовых перевозок	RFTP	Road Freight Transport Providers
SP6.1.1	Доставка по городу	UD	Urban Distributor
SP6.1.2	Поставщики автомобильных грузовых перевозок	HFTP	Highway Freight Transport Providers
SP6.2	Поставщики железнодорожных грузовых перевозок	RFTP	Railway Freight Transport Providers
SP6.3	Поставщики авиаперевозок	AFTP	Aerial Freight Transport Providers
SP6.4	Поставщики водного транспорта	WFTP	Water Freight Transport Providers
SP6.5	Поставщики интермодальных грузовых перевозок	IMFT	Inter-modal Freight Transport Providers
SP6.6	Поставщики сервисов хранения	SSP	Storage Service Providers
SP7	Поставщик продукции/оборудования	PEM	Products/Equipment Manufacturers
SP7.1	Производители автомобилей	AM	Automobile Manufacturers
SP7.2	Производители коммуникационного оборудования	CEM	Communication Equipment Manufacturers
SP7.3	Системные интеграторы	SI	System Integrators
SP8	Поставщики продуктов/сервисов	PSP	Products/Services Providers
SP8.1	Поставщики сервисов по техническому обслуживанию автомобилей	AMP	Automobile Maintenance Providers

SP8.2	Страховые компании	INC	Insurance Companies
SP8.3	Поставщики карт и обновлений карт	MMUP	Mapping and Map-Updating Providers
SP8.4	Поставщик фундаментальной географической информации	FGIP	Fundamental Geographic Information Provider
SP8.5	Поставщик информационных сервисов	ISP	Information Service Provider
SP8.6	Финансовые центры	FC	Financial Centers
SP9	Правоохранительные департаменты	LE	Law Enforcement Departments
SP9.1	Департаменты общественной безопасности	PS	Public Security Departments
SP9.2	Администратор промышленности и торговли и налоговые департаменты	ICAR	Industry & Commerce Administrator and Revenue Departments

Сервисы пользователи

В архитектуре национальной ИТС пользовательские сервисы разделены на 8 доменов, 34 сервиса и 138 подсервисов. Восемь доменов, определенных архитектурой ИТС Китая, включают управление и планирование дорожного движения, электронный сбор за проезд, информацию для участников дорожного движения, безопасность транспортных средств и помощь при вождении, чрезвычайные ситуации и безопасность, управление операциями, интегрированный транспорт и автоматические автомагистрали. В таблице 1.3 показаны сведения обо всех этих доменов сервисов, сервисах и их подсервисах [12].

Таблица 1.3 - Домены сервисов, пользовательские сервисы и подсервисы ИТС Китая

№ п/п	Домены сервисов	Наименование сервисов	подсервисы
1	1. Управление транспортом и планирование	1. Контроль и соблюдение правил дорожного движения	Обеспечение соблюдения правил контроля доступа
2			Соблюдение правил парковки
3			Соблюдение законов об ограничении скорости
4			Соблюдение законов о сигналах светофора
5			Обеспечение ограничения нагрузки на транспортное средство
6			Обеспечение соблюдения норм охраны окружающей среды
7			Управление водителями и номерными знаками транспортного средства
8		2. Поддержка транспортного планирования	Предоставление информации о транспорте, необходимой для планирования транспорта
9			Координация с соответствующими отделами планирования
10			Поддержка стратегии планирования
11	3. Управление техническим обслуживанием инфраструктуры	3. Управление содержанием дорожного покрытия	Управление содержанием дорожного покрытия
12			Поддержание и управление придорожной средой

13		Управление обслуживанием дорожных знаков
14		Управление обслуживанием мостовой и тоннельной инфраструктуры
15		Управление обслуживанием связи и другого полевого оборудования
16		Управление дорожным движением при обслуживании дорог
17		Управление аварийным восстановлением
18	4. Управление дорожным движением	Адаптивное управление светофором
19		Управление изменением направления движения
20		Комплексное управление между городами и городами
21		Интеграция управления дорожным движением и навигации по маршруту
22		Контроль пандуса и скорости
23		Реализация стратегий управления транспортом
24	5. Управление требованиями	Управление доступностью
25		Управление ценами на перегруженные дороги
26		Управление парковкой
27		Управление спросом на автобусы

28			Управление качеством окружающей среды
29		6. Управление авариями	Предотвращение инцидентов
30			Обнаружение инцидентов
31			Идентификация инцидентов
32			Реагирование на инцидент
33			Управление после инцидентов
34			Запись инцидентов
35	2. Электронная плата за проезд	7. Электронная плата за проезд	Безостановочный электронный сервис взимания платы за проезд по дорогам, мостам и тоннелям
36			Сервис автоматического взимания платы за остановку по дорогам, мостам и тоннелям
37			Автоматические взимания за парковку
38			Автоматическая взимания за парковку на улице
39			Электронный автоматический взимание платы за проезд в автобусе
40			Электронные трансакции для использования платной информации о дорожном движении и сервисах
41	3. Информация для участников	8. Информационная служба перед поездкой	Информация об общественном транспорте перед поездкой

42	дорожного движения		Информация о службе заказа такси
43			Информация службы планирования поездок
44			Информация о текущем состоянии дорожной системы
45			9. Информационная служба вождения для водителей
46			Информация о состоянии транспортного средства
47			Информация о дорожно-транспортных происшествиях
48			Варианты парковки и пересадки
49			Информация о парковке
50			Информация о состоянии дорожного движения
51			Информация о расписании общественного транспорта
52			Информация о правилах дорожного движения
53			Информация о дорожном строительстве
54			Информация о пунктах взимания платы
55			Информация о погоде
56			10. Информационная
			Информация о придорожном сервисе
			Информация о пересадке

57		служба общественного транспорта в пути	Информация о движении транспортного средства
58			Информация о регулировании
59			Информация о тарифах
60		11. Персонализированная информационная служба	Информация об объекте обслуживания
61			Бронирование государственных сервисов
62			Информация о достопримечательностях
63		12. Навигация по маршруту и навигационные сервисы	Автономная навигация
64			Индукция динамического пути
65			Индукция пути смешанного режима
66	4. Безопасность автомобиля и вспомогательное вождение	13. Расширение поля зрения	Расширение поля зрения
67			Улучшенная видимость поля зрения
68		14. Предотвращение продольных столкновений	Предотвращение столкновения сзади
69			Защита от столкновений при движении задним ходом
70			Фронтальное/скрещённое предотвращение столкновений
71		15. Предотвращение бокового столкновения	Предотвращение боковых столкновений при смене полосы движения

72			Предотвращение бокового столкновения при боковом отклонении автомобиля
73		16. Предотвращение столкновения на перекрестке	нет
74		17. Определение состояния безопасности инфраструктуры	Определение состояния безопасности инфраструктуры
75			Мониторинг физического и психического состояния водителя
76			Мониторинг состояния безопасности автомобиля
77			Предупреждение о приближающихся транспортных средствах
78		18. Защита пассажиров перед столкновением	Нет
79		19. Автовождение	Автоматическое отслеживание полосы движения
80			Соблюдение дистанции
81			Автоматическая смена полосы движения
82			Автоматическое позиционирование и парковка
83	5. Чрезвычайные ситуации и	20. Аварийное подтверждение и личная	Подача аварийно-спасательных сигналов

84	безопасность	безопасность	Автоматическая идентификация аварийных ситуаций
85			Ответы на запросы о спасении
86			Выявление угнанных автомобилей
87			Экстренное уведомление
88	21. Управление аварийным транспортом	Приоритетное указание маршрута для автомобилей экстренных служб	Приоритетное указание маршрута для автомобилей экстренных служб
89			Оповещение о прибытии аварийных машин
90			Отправка аварийных автомобилей
91			Техническое обслуживание аварийно- спасательных транспортных средств
92		Объявление информации о перевозке опасных грузов и авариях	Объявление информации о перевозке опасных грузов
93			Охрана безопасности перевозки опасных грузов
94			Объявление о чрезвычайной ситуации при перевозке опасных грузов
95			Аварийно-спасательные работы
96		План изменения маршрута после чрезвычайной ситуации	План изменения маршрута после чрезвычайной ситуации
97			Мониторинг безопасности объектов общественного транспорта и транспортных средств

98			Оповещение о чрезвычайных ситуациях в общественном транспорте
99		24. Меры безопасности для уязвимых участников дорожного движения	Контроль светофора для обеспечения безопасности уязвимых участников дорожного движения
100			Доступность и автоматическое наведение
101			Сигнализация о приближении транспортного средства
102			Личные запросы на спасение
103			Контроль транспортных средств для обеспечения безопасности уязвимых участников дорожного движения
104		25. Сервисы безопасности на перекрестках	Сервисы обеспечения безопасности на перекрестках дорог
105			Сервисы обеспечения безопасности на пересечениях автомобильных и железных дорог
106			Сервисы безопасности на пересадке
107	6. Управление эксплуатации	26. Автобусное планирование	Оптимизация маршрута
108			Планирование расписания автобусов
109			Сервисы совместной эксплуатации
110			Бизнес-план
111			Анализ эффективности эксплуатации

112		27. Мониторинг за транспортным средством	Мониторинг состояния транспортного средства
113			Информационное согласование
114			Реализация приоритета автобусов
115		28. Управление автобусной эксплуатацией	Сервис по заказу автобуса
116			Наблюдение и техническое обслуживание инфраструктуры общественного транспорта
117			Диспетчеризация и управление автобусов
118			Управление персоналом по продаже автобусов
119			Управление расходами
120			Управление такси
121		29. Управление генеральными грузоперевозками	Организация и управление грузов
122			Диспетчеризация грузовых транспортных средств
123			Управление водителями грузовых автомобилей
124			Автоматическая оптимизация маршрута для грузового транспорта
125		30. Управление специальным транспортом	Предварительный выбор и регистрация маршрутов
126			Подготовка вариантов реагирования на чрезвычайные ситуации

127			Мониторинг при транспортировке и автоматическое оповещение о чрезвычайных ситуациях
128		31. Предоставление пассажирских интермодальных сервисов	Планирование интермодальных поездок
129			Сервис в течении интермодального перевозки
130		32. Предоставление грузовых интермодальных сервисов	Предтранспортные информационные сервисы
131			Отслеживание динамического статуса при интермодальных перевозках грузов
132	7. Комплексная транспортировка	33. Обмен пассажирскими и грузовыми информационными ресурсами	Обмен данными пассажиров
133			Обмен данными о грузовых перевозках
134			Взаимодополняемость различных видов транспорта
135	8. Интеллектуальное шоссе	34. Интеллектуальное шоссе	Сервис автоматической проверки въезда транспортных средств
136			Сервис контроля полосы движения транспортных средств
137			Сервис автоматического управления транспортными средствами
138			Сервис по сортировке транспортных средств
139			Сервис предупреждения о вождении транспортных средств

140			Сервис автоматической проверки выезда транспортного средства
-----	--	--	--

Выводы по главе

1. Внедрение интеллектуальной транспортной системы может значительно повысить эффективность управления дорожным движением, снизить вероятность заторов на дорогах и даже способствовать экономическому развитию в соответствии с национальной стратегией устойчивого развития. Транспортная политика во многих странах направлена на популяризацию интеллектуальных транспортных систем и интеграцию как можно большего количества сервисов на единой платформе [3].
2. Анализ стратегических инициатив и инноваций в разных странах показывает значимость международного сотрудничества и межотраслевого взаимодействия в развитии и стандартизации интеллектуальных транспортных систем (ИТС). В частности, освещены успехи Китая в создании национальной системы управления интеллектуальным транспортом, что подчеркивает важность адаптации подходов к ИТС в соответствии с национальными особенностями и потребностями.
3. Предварительное построение архитектуры ИТС имеет решающее значение для перехода от использования одного сервиса ИТС к сложной интегрированной системе. С его помощью взаимосвязи между различными элементами интеллектуальной транспортной системы станут более понятными, а дальнейшее развитие событий более предсказуемым.

ГЛАВА 2. ОБЗОР МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ АРХИТЕКТУР ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

2.1 Основные принципы разработки архитектуры интеллектуальных транспортных систем

В настоящее время существует два основных способа построения архитектуры ИТС: процессно-ориентированный метод построения и объектно-ориентированный метод построения. Процессно-ориентированный метод в основном использует концепцию абстрактной модели, разлагает и проектирует системные функции в соответствии с отношениями передачи внутренней информации системы и берет данные в качестве центра в соответствии с принципом нисходящего уточнения, и реализует физическую модель, отвечающую потребностям пользователей [6]. Объектно-ориентированный метод построения разработан на основе объектно-ориентированного языка программирования. Он в основном строит моделирование из состава системы, принимает объектно-ориентированный анализ и идею проектирования и использует язык моделирования UML (Unified Modeling Language — унифицированный язык моделирования) для разработки и выражают систему [6]. Каждая функция системы абстрагируется в конкретные экземпляры, атрибуты и объекты поведения, а функции системы реализуются через координацию между этими объектами [6, 29].

2.2 Метод разработки архитектуры интеллектуальных транспортных систем

2.2.1 Процессно-ориентированный метод построения

В процессе разработки архитектуры ИТС проводится анализ сложной системы ИТС с использованием метода системного анализа в программной инженерии [6]. Метод структурного анализа используется для анализа системных требований и системных функций; метод структурированного проектирования, ориентированный на поток данных, используется для построения структуры системы, функция обслуживания пользователя постепенно декомпозируется, а реализация функции модульная, таким образом получается архитектура ИТС [6, 30].

Ниже сначала кратко представлены методы структурного анализа и проектирования в программной инженерии, а затем анализируется их применение в архитектуре ИТС [6].

В программной инженерии существует множество различных методов структурного анализа для исследования и моделирования требований к программному обеспечению, но все они должны соответствовать следующим рекомендациям: должна быть понята и представлена информационная область проблемы, то есть должна быть установлена модель данных; программное обеспечение должно быть определено; поведение программного обеспечения в результате внешних событий должно быть представлено, то есть должна быть установлена модель поведения, модели, описывающие информацию, функции и поведение, должны быть декомпозированы, а детали должны отображаться в иерархическом порядке; процесс анализа должен перейти от информации об элементах к деталям реализации [6].

Через словарь данных, диаграммы взаимосвязи объектов, диаграммы потоков данных, диаграмм переходов состояний устанавливаются системная модель данных, функциональная модель и модель поведения [6]. Диаграмма сущность-связь (ER, Entity-relationship diagram) представляет собой диаграмму описания объектов данных в модели данных системы, атрибутов, описывающих объекты данных, взаимосвязи между объектами данных и т. д. Объекты данных, их атрибуты и взаимосвязи

представлены в виде диаграммы, что позволяет системным аналитикам лучше формализовать своё понимание требований к системе; диаграмма потока данных (DFD, Data flow diagram) представляет собой наглядную форму отображения логических функций системы, отражающую движение потоков данных от входа к выходу [6]. Анализ системы может быть представлен иерархической диаграммой потоков данных. Чем ниже уровень, тем более подробно логическая функция, которую он представляет. События представляют поведение системы, словарь данных представляет собой набор определений для всех элементов данных, используемые в системе, что позволяет людям иметь общее представление о входных и выходных данных системы, хранимых компонентах и даже промежуточных результатах вычислений [6,7].

На основе вышеупомянутых моделей анализа системных требований разрабатывается структура программного обеспечения, включая проектирование данных, проектирование архитектуры, проектирование интерфейса и проектирование процессов [6]. Обычно делится на два этапа: общее проектирование и детальное проектирование, что является основным положением технологии в процессе разработки программного обеспечения [6]. Основная задача сводного проектирования - правильно разложить программное обеспечение путем анализа спецификаций в анализе требований, чтобы разделить программное обеспечение на модули и спроектировать структуру модулей для выполнения заранее определенных функций [6]. Детальный проект в основном детально проектирует каждый модуль и определяет алгоритм и структуру данных, необходимые для выполнения функций каждого модуля [6]. Переход от модели системного анализа к проектированию структуры системы показан на рис. 2.1.

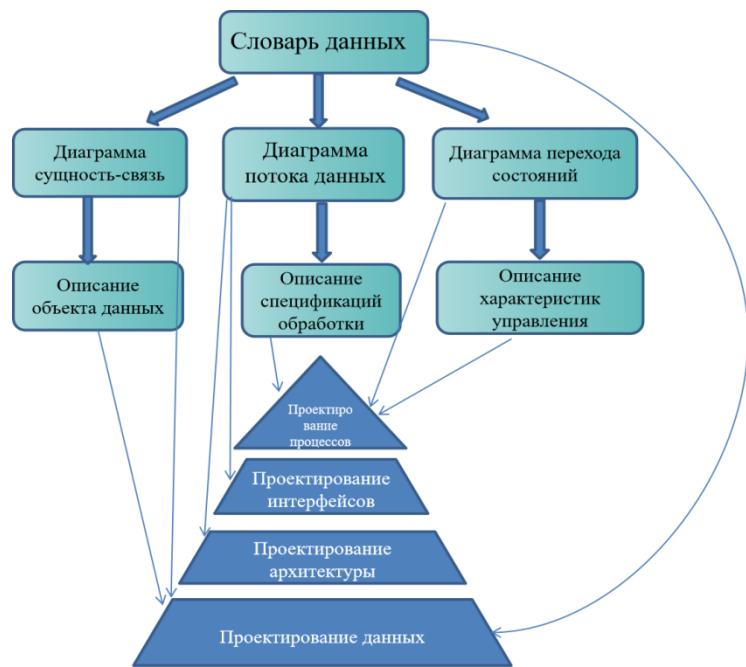


Рис. 2.1 - Трансформация системного структурного анализа и структурного проектирования в программной инженерии

Среди них проектирование данных преобразует модель данных на этапе анализа в структуру данных, необходимую для разработки программного обеспечения; проектирование архитектуры определяет взаимосвязь между основными структурными элементами программы, а представление проекта может быть получено из взаимодействия модели анализа и определенные в ней подсистемы - модульная структура компьютерных программ; дизайн интерфейса описывает внутреннее программное обеспечение, между программным обеспечением и кооперативной системой и способ связи человека с компьютером; дизайн процесса преобразует структурные элементы в архитектуру программы в процедурные описания программных компонентов [6].

С помощью вышеуказанного системного структурного анализа и структурного проектирования (так называемый метод структурного проектирования - это метод проектирования, основанный на потоке данных), получается структурный проект программного обеспечения, который обеспечивает гарантию кодирования и тестирования программного обеспечения [6].

В сочетании с целью и использованием архитектуры ИТС аналогичные методы

структурного анализа и проектирования используются для анализа построения архитектуры ИТС следующим образом [6].

Применение процессно-ориентированной руководящей идеологии в архитектуре ИТС в основном отражается в построении логической и физической архитектуры ИТС [6]. Одной из целей построения архитектуры ИТС является уточнение функционального состава и информационных потоков сложной системы ИТС, то есть уточнение функционального и структурного состава системы ИТС [6,31]. Соответствие структурному анализу и проектированию показано в перечеркнутой части рис. 2.1. Содержимое логической архитектуры в основном соответствует спецификации обработки, диаграмме потока данных и словарю данных в левой половине диаграммы, а содержание физической архитектуры в основном соответствует правильному дизайну данных, дизайну архитектуры, дизайну интерфейса на половинной диаграмме.

Применение метода процессно-ориентированного анализа в логической архитектуре ИТС в основном отражается в функциональном анализе пользовательских сервисов, и функция декомпозируется в порядке сверху вниз, что соответствует процессу логического мышления людей о вещах [6]. Поскольку архитектура ИТС не является единой программной системой, а включает в себя несколько систем, связанных с транспортом, разработка логической архитектуры ИТС отличается от разработки программного обеспечения, что в основном проявляется в получении логических функций и таблиц потоков данных, соответствующих каждому пользователю [6]. После этого необходим процесс объединения подобных функций, чтобы получить таблицу иерархии логических функций, нарисовать диаграмму потока данных (DFD) каждой иерархии и предоставить соответствующий словарь данных для описания логической функции и потока данных [6]. В процессе функционального анализа каждая функция дается в соответствии с процессом выполнения сервисов, включая граничные функции, такие как обмен информацией между системой и внешним миром и ответ на запросы [6,29,30].

Построение физической архитектуры ИТС в большей мере основано на вышеуказанном содержании логической архитектуры ИТС, ссылаясь на главные

принципы и эвристические правила проектирования структуры программного обеспечения и комбинируя фактические условия транспортной системы для модульного разделения логических функций. Поскольку физическая архитектура ИТС трансформируется из элементов таблицы логической иерархии и диаграммы потоков данных, она естественным образом наследует процессно-ориентированную идею логической архитектуры ИТС. Такие элементы, как системы, подсистемы, модули и потоки архитектуры в физическая архитектура может проектировать коммуникационные интерфейсы.

2.2.2 Методы объектно-ориентированного построения

Объектно-ориентированный метод — это новый способ мышления, отправной точкой и основным принципом которого является максимальное моделирование образа мышления человека, чтобы метод и процесс разработки программного обеспечения были максимально приближены к методу и процессу понимания человеком мира и решения проблем, то есть максимально приблизить метод и процесс разработки программного обеспечения. Пространство проблемы (также известное как проблемная область), описывающее проблему, максимально структурно согласовано с пространство решений (также известное как область решения) реалистичного решения [6,29].

Поэтому системный анализ, руководствуясь объектно-ориентированным методом, рассматривает состав системы не как совокупность ряда процедур или функций, работающих с данными, а как совокупность взаимодействующих друг с другом и независимых друг от друга объектов [6].

Подобно процессно-ориентированному методу, который требует создания модели данных, функциональной модели и модели поведения, объектно-ориентированный метод анализирует системные требования с трех разных, но тесно связанных точек зрения, включают в себя: объектную модель, описывающую статическую структуру системы; динамическая модель, описывающую структуру управления системой; функциональная модель, описывающая вычислительную

структуре системы. Среди них объектная модель является самой основной, основной и самой важной [6,29,31].

Создание объектной модели является основной задачей объектно-ориентированного анализа [6]. Объектная модель крупномасштабных систем в основном включает пять действий: выяснить «класс-объект», определить структуру, определить субъект, определить свойства, определить сервисы [6]. Они не выполняются в строгом порядке сверху вниз, и модель можно постепенно уточнять снова и снова.

Динамическая модель — это представление серии событий, происходящих в системе в течение определенного периода выполнения. Диаграмма отслеживания событий показывает взаимодействие событий между классами и объектами в системе, а диаграмма состояний показывает взаимосвязь между событиями и состояниями объектов для важных классов в системе [6,29].

Функциональная модель похожа на процессно-ориентированную функциональную модель и представлена диаграммой потока данных.

После завершения построения трех вышеуказанных моделей анализ требований к системе завершается, и начинается этап проектирования системы [6]. Граница между анализом и проектированием не столь четкая, как процессно-ориентированная. Шаблоны объектно-ориентированной разработки программного обеспечения естественным образом поддерживают принцип проектирования, заключающийся в разбиении системы на модули: объект — это модуль, который тесно сочетает в себе структуры данных и методы манипулирования этими данными [29,32,33].

Использование объектно-ориентированного метода в качестве руководства для анализа ИТС в основном отражается в построении логической архитектуры, которая соответствует объектно-ориентированному методу на этапе анализа спроса при разработке программного обеспечения. Ссылаясь на построение японской архитектуры ИТС, метод руководства по разработке можно примерно получить следующим образом:

Проанализировать и абстрагировать людей, вещи и организации, задействованные в ИТС, получить «класс-объект» и построить объектную модель.

Построение этой модели требует детального анализа ИТС, а точность модели напрямую влияет на построение архитектуры ИТС. В логической архитектуре ИТС Японии устанавливается подробная объектная модель, включающая целостную модель (для всей ИТС или контента, совместно используемого несколькими областями обслуживания) и подробную модель (конкретную модель для одной службы). перспективы (Global View\Physical View) анализируются, и дана базовая модель (Core Model) и подробная модель (Detailed Model), соответствующие общей модели и подробной модели, как показано на рис. 2.2:

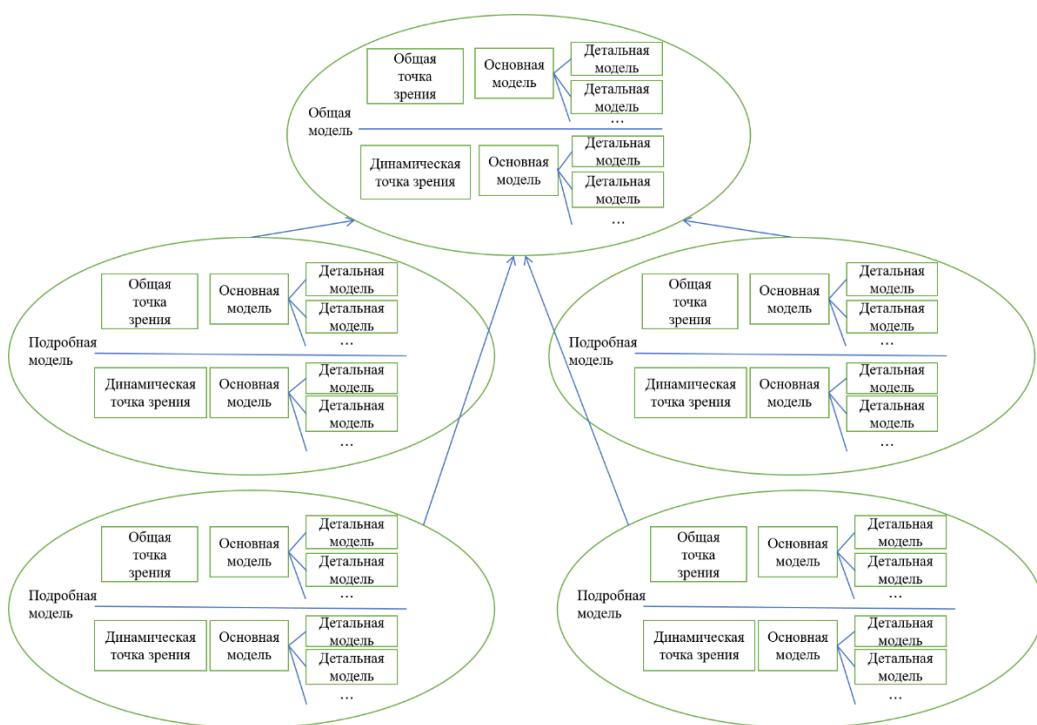


Рис. 2.2 - Информационная модель японской логической архитектуры ИТС

Среди них основная модель дает взаимосвязи между объектными классами, участвующими в обслуживании, детальная модель подробно анализирует объектные классы в основной модели и дает наследование и другие взаимосвязи между объектами каждого объектного класса, а детальная модель является моделью ядра. Модель ядра представляет собой модель информационного взаимодействия между объектами с динамическими информационными требованиями, а детальная модель представляет собой углубление объектов в модели ядра.

Информационная модель использует концепции объектов, классов, наследования, событий и состояний для описания участвующих объектов в системе ИТС, а также статической и динамической информации между ними. Таким образом, получается динамическая модель, влияющая на изменения объектов. Каждый объект дает семь категорий на верхнем уровне: местоположение, дорога, маршрут движения, движущийся объект, план, оператор и другие учреждения, как показано на рис. 2.3; атрибутами объекта являются содержание информационного взаимодействия, информационные модели даются не только связь между верхним и нижним уровнями, но и взаимосвязанная связь между различными информационными классами.

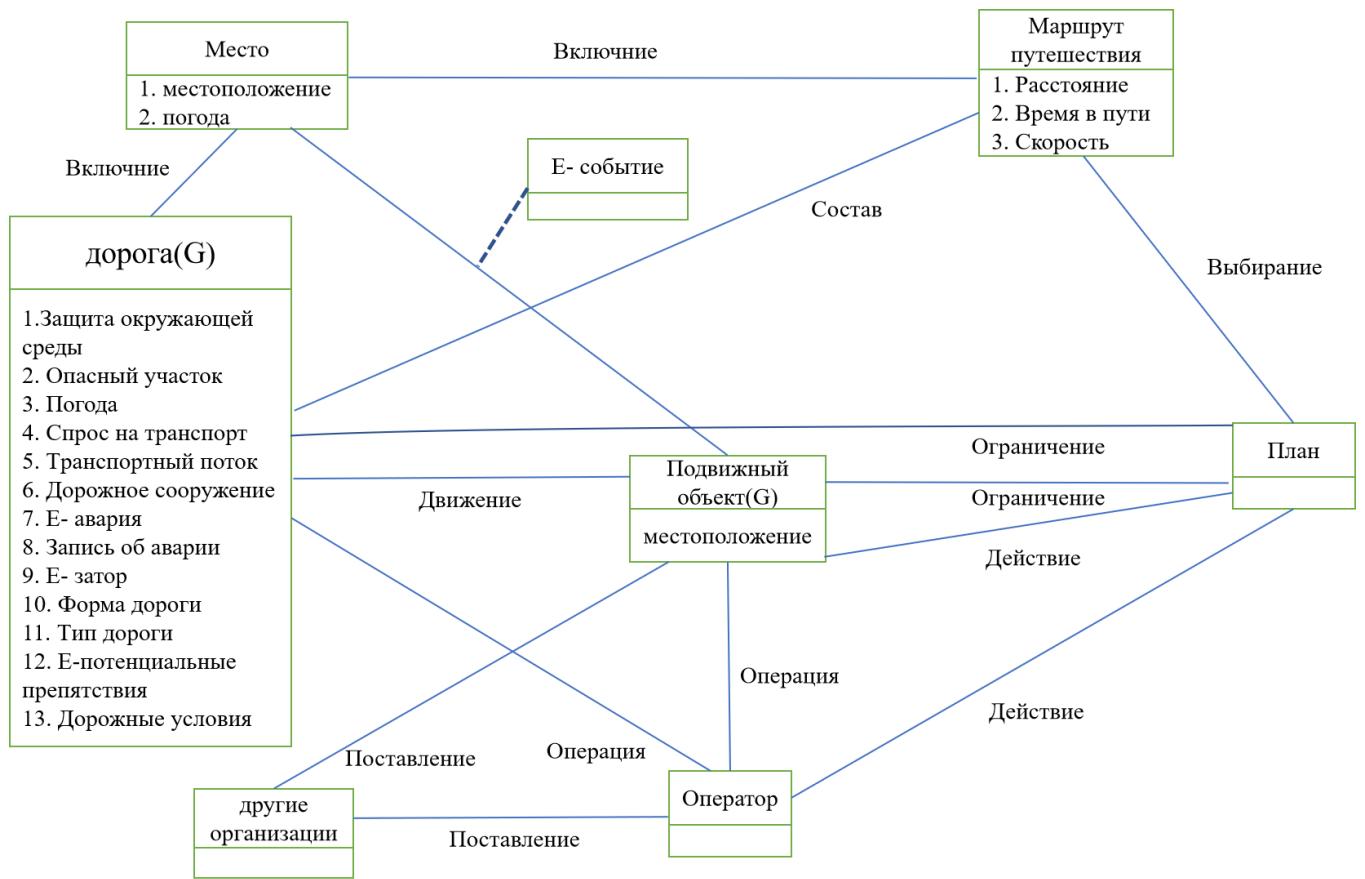


Рис. 2.3 - Объектная модель верхнего уровня японской архитектуры ИТС

Где: G-general (обыкновенный) E-extreme (крайний)

Модель управления представляет собой модельное представление взаимосвязей между логическими функциями и информацией, обрабатываемой логическими функциями, необходимой для реализации каждой подсервиса в логической архитектуре ИТС, что эквивалентно функциональной модели в разработке

программного обеспечения. В соответствии с шаблоном «уровень управления — уровень передачи информации — информационный уровень» задается соответствующая модель управления всеми подсервисами ИТС, а логическое содержание, необходимое для реализации подсервисов, представлено «информационным потоком» и функциями. В моделях управления обычно используются пять типов режимов управления: сбор, предоставление, предупреждение, контроль и подтверждение.

Физическая архитектура ИТС Японии включает в себя: подсистемы высокого уровня, подсистемы низкого уровня, единую независимую физическую модель, общую физическую модель и информационный поток. Среди них подсистема высокого уровня разделена по расположению, подсистема нижнего уровня предлагается на основе модели управления в логической архитектуре. Основной принцип заключается в предоставлении независимой подсистемы нижнего уровня для каждого модуля управления в модели управления, а также имеется подсистема нижнего уровня. Подсистема соответствует случаю включения нескольких модулей управления, в котором согласование логической функции и места реализации, соответствующих 172 подсервисам в архитектуре системы ИТС, завершено с помощью таблицы выбора метода, то есть позиционирование базовой подсистемы в подсистеме высокого уровня завершено. Факторы, которые необходимо учитывать, включают техническую осуществимость, затраты пользователей, затраты на инфраструктуру, точность, взаимодействие с обратной связью, частоту обновления информации, безопасность, катастрофоустойчивость, требования информационной безопасности и т. д. Является классификационным методом и не имеет практического значения, физическая модель предлагается для обслуживания пользователей и состоит из базовых подсистем в качестве базовой единицы.

По сути, подсистемы высокого уровня и архитектура системы сливаются воедино, образуя общую физическую модель [34,35]. Базовые подсистемы и потоки архитектуры вместе в различных сочетаниях образуют единую независимую физическую модель. Подобно физической архитектуре Соединенных Штатов, она берет людей, транспортные средства, дороги, центры и окружающую среду в качестве

основных принципов разделения физической системы и предлагает соответствующую физическую модель для пользовательских сервисов.

Кроме того, в японской архитектуре ИТС предусмотрены очень подробные правила именования для каждого элемента (включая поток данных и т. д.), так что в процессе разработки архитектуры, особенно групповой разработки, согласованность имени архитектуры ИТС. Это может значительно облегчить упорядочение и модификацию контента на более позднем этапе разработки, что заслуживает внимания разработчиков из Китая.

Сравнительный анализ этих методов анализа разработки архитектуры ИТС проводился по таким факторам как метод анализа сервисов ИТС, особенности обновления и обслуживания, сложность логической архитектуры, сложность модулей физической архитектуры. Результаты сравнения и анализа методов разработки архитектуры ИТС приведены в таблице 2.1:

Таблица 2.1 - Классификация методов разработки архитектуры ИТС

Факторы	Процессно-ориентированный метод	Объектно-ориентированный метод	Сравнение
Метод анализа	Сервисы ИТС анализируются с точки зрения функциональных процессов, и считается, что ИТС завершается комбинацией функций.	При анализе с точки зрения объектов, участвующих в ИТС, считается, что системы ИТС состоят из объектов и связей между ними.	Первый вариант подходит для задач в области обработки данных, где состав системы рассматривается как совокупность процессов или функций, работающих с данными; второй вариант больше соответствует человеческому пониманию мира, где системы рассматриваются как совокупности взаимодействующих, но независимых друг от друга объектов.
Обновление и обслуживание	При модификации или добавлении новых сервисов необходимо еще раз пройти этапы разработки	При изменении или добавлении сервиса необходимо найти соответствующий класс объекта	При первом обновлении необходимо задействовать всю структуру содержания обновления, что легко пропустить; при втором - для соответствующего класса объектов необходимо изменить соответствующее содержание;

	архитектуры, которая должна быть интегрирована с существующим содержанием.	и т.д. и изменить его содержимое.	в отличие от этого, второй вариант имеет очевидные преимущества.
Сложность моделирования логической архитектуры	Представление его логических функциональных элементов и связей между ними, в основном с помощью диаграмм потоков данных.	Для наглядного описания логических архитектурных элементов необходимы объектная, динамическая и функциональная модели.	Первый вариант более прост и соответствует лишь функциональной модели одной из моделей второго варианта; логическое моделирование второго варианта относительно сложно.
Сложность модульности физической архитектуры	Требование меньшего анализа и разграничения функций логической архитектуры.	Анализируются логические функциональные элементы, соответствующие каждому пользовательскому сервису, что представляет собой большой объем анализа.	Модульность логических функциональных элементов требует многостороннего анализа физической реализации каждого логического функционального элемента; второй вариант более требователен с точки зрения объема работы.

2.3 Нормативное описание архитектурных элементов ИТС

В Китайской Народной Республике вместо функциональной архитектуры используется логическая архитектура, которая включает в себя как потоки данных так и функциональную архитектуру. Чтобы лучше интегрировать архитектуру ИТС с практическими приложениями, предлагается новый элемент архитектуры ИТС - системы приложений ИТС, которые также является новизной архитектуры интеллектуальных транспортных систем КНР [30,36,37].

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) представляет собой сложную большую систему, органически состоящую из множества подсистем, связанных между собой и не имеющих единого руководителя [6,7,38]. В качестве программного и макроруководящего технического документа архитектура ИТС играет важную роль в стандартизации, координации и устойчивом развитии ИТС [30]. Для существующих методов разработки архитектуры ИТС, независимо от того, процессно-ориентированный метод или объектно-ориентированный метод, существуют следующие проблемы, которые еще предстоит прояснить [12,39,40].

(1) Хотя существует отношение преобразования между тремя основными компонентами архитектуры ИТС — пользовательскими службами, логической архитектурой и физической архитектурой, то есть после определения пользовательских служб необходимо сопоставить их с логической архитектурой, а затем связать их с помощью логических функций. Нет никаких возражений против основного процесса получения физической архитектуры. Однако по-прежнему недостаточно стандартизованных методов и операционных процедур для перехода от пользовательских сервисов к логической архитектуре и от логической архитектуры к физической архитектуре [30].

(2) Конкретные проявления пользовательских сервисов, логической архитектуры и физической архитектуры недостаточно стандартизированы.

(3) Практичность архитектуры ИТС недостаточна. Поскольку «подсистемы», определенные в физической архитектуре, в основном являются идеализированными и теоретическими, то, как сделать их более тесно интегрированными с рынком и реальными приложениями ИТС, является неотложной проблемой, требующей

решения [30].

(4) В текущем методе обеспечить непротиворечивость и целостность данных является сложной задачей, и нет эффективного и надежного способа обеспечить согласованность и целостность сложных данных архитектуры ИТС. В процессе разработки архитектуры из-за отсутствия координации между несколькими рабочими группами в разных местах и многократного обновления данных часто возникает несогласованность данных [30,41,42].

Архитектура ИТС состоит из 4 частей с отношениями преобразования, а именно: пользовательских сервисов, логической архитектуры, физической архитектуры и системы приложений.

(1) Сервисы пользователей

Пользовательские сервисы определяют, что должна предоставлять ИТС с точки зрения различных пользователей ИТС. Обычно пользовательские сервисы могут быть получены на основе сервисов, которые заинтересованные стороны хотят, чтобы ИТС предоставляла.

Пользовательские сервисы определяются с помощью иерархической структуры, состоящей из трехуровневых элементов, и эти элементы вместе называются элементами пользовательских сервисов (User Service, US), которые конкретно определяются следующим образом:

- 1) Домены пользовательских сервисов (User Service Fields), обозначаемые как $US_i (i = 1, \dots, M)$, где M — количество доменов пользовательских сервисов.
- 2) Сервисы (Services), обозначенные как $US_{i,j} (j = 1, \dots, M_i)$, где M_i — количество сервисов, содержащихся в i -м домене пользовательских сервисов US_i .
- 3) Подсервисы (Sub Services), обозначаемые как $US_{i,j,k} (k = 1, \dots, M_{ij})$, где M_{ij} — количество подсервисов, содержащихся в j -м сервисе $US_{i,j}$ в i -м домене пользовательских сервисов.

Множество всех элементов пользовательских услуг обозначается как US .

(2) Логическая архитектура

Логическая архитектура предназначена для реконструкции общего содержания ИТС, описываемого пользовательскими сервисами, с точки зрения логических

функций. Путем преобразования, сопоставления и интеграции определенных пользовательских сервисов одна за другой формируется логическая архитектура, а функции ИТС организуются разумно и эффективно с использованием подробно определенных элементов логических функций и потоков данных.

1) Логические функциональные элементы

Логические функции могут быть декомпозированы для формирования n_L ($n_L \geq 3$) иерархической архитектуры, и все элементы в этой иерархической архитектуре в совокупности называются элементами логических функций (Logical Function Elements, LF), где:

- а) логический функциональный элемент верхнего уровня называется функциональном доменом (Function Area);
- б) Элемент логической функции нижнего уровня называется процессом (Process). Если декомпозиция логической функции не может быть далее подразделена, текущий элемент логической функции является процессом;
- в) Между функциональном доменом и процессом он может быть разложен на несколько уровней в соответствии с потребностями, и элементы этих уровней в совокупности называются функциями (Функция). Стоит отметить, что каждый функциональный домен и функцию можно разложить на разные уровни в соответствии с фактическими потребностями, но максимальное количество уровней составляет $n_L - 2$.

Множество всех логических функциональных элементов обозначается как LF.

В общем случае логический функциональный элемент n_l -го уровня ($1 \leq n_l \leq n_L$) может быть обозначен как $LF_{i_1, i_2, \dots, i_n}$, где i_k ($1 \leq k \leq n_l$) — это порядковый номер данного элемента в составе всех логических функциональных элементов k -го уровня, принадлежащих элементу $(k-1)$ -го уровня, то есть $LF_{i_1, i_2, \dots, i_{k-1}}$. Очевидно, что $1 \leq i_k \leq N_{i_1, i_2, \dots, i_{k-1}}$, где $N_{i_1, i_2, \dots, i_{k-1}}$ обозначает общее количество логических функциональных элементов k -го уровня, содержащихся в соответствующем элементе $k-1$ -го уровня, то есть в $LF_{i_1, i_2, \dots, i_{k-1}}$. Когда $n_l = 1$, обозначение LF_{i_1} используется для представления функциональных доменов с

порядковым номером i_1 .

2) Поток данных

В логической архитектуре поток данных (Data Flow, DF) используется для описания информационного взаимодействия между различными логическими функциональными элементами. Поток данных, начинающийся в точке $LF_{i_1, i_2, \dots, i_{nl}}$ и завершающийся в точке $LF_{j_1, j_2, \dots, j_{nl}}$, обозначается как $DF(LF_{i_1, i_2, \dots, i_{nl}}, LF_{j_1, j_2, \dots, j_{nl}})$.

Для удобства все потоки данных, входящие и исходящие из элемента логической функции $(LF_{i_1, i_2, \dots, nl})$ обозначаются как $DF(LF_{i_1, i_2, \dots, i_{nl}})$.

3) Диаграмма потоков данных

Диаграмма потоков данных (Data Flow Diagram, DFD) может описать общую ситуацию с логической архитектурой. Каждая диаграмма потоков данных состоит из логических функциональных элементов и потоков данных между ними [30]. На диаграмме потоков данных логические функциональные элементы представлены кружками, отмеченными номерами и именами внутри; потоки данных между логическими функциональными элементами представлены стрелками, отмеченными именами между двумя элементами.

Поскольку будут сотни или даже тысячи логических элементов функций и потоков данных, их выражение в одной и той же диаграмме потоков данных сделает читабельность диаграммы плохой. С этой целью принят метод послойной диаграммы потоков данных, а сложная и крайне плохо читаемая диаграмма потока данных преобразуется в ряд диаграмм потока данных с иерархическим представлением и логической связью, которые математическим языком выражаются следующим образом [30, 43, 44].

Для диаграммы потоков данных верхнего уровня он записывается как DFD_0 , который состоит из функциональных доменов, содержащихся в ИТС, и потока данных между каждым функциональным доменом. DFD_0 может быть записан как:

$$DFD_0 = \psi_0(LF_i, DF(LF_i), i = \overline{1, N_0}) \quad (2.1)$$

Где: N_0 — общее количество функциональных доменов, содержащихся в ИТС;

LF_i — каждый функциональный домен;
 $DF(LF_i)$ — все потоки данных, входящие в данный функциональный домен или исходящие из него;
 ψ_0 — отображение.

Как правило, для логического функционального элемента $LF_{i_l, i_2, \dots, i_{d-1}}$ слоя $n_l - 1 (1 < n_l < n_L)$ его непосредственно подчиненным логическим функциональным элементом является $LF_{i_1, i_2, \dots, i_{n_l-1}, i_{n_l}}$, то диаграмма потока данных с ним в качестве ядра можно определить как:

$$DFD_{i_1, i_2, \dots, i_{n_l-1}} = \psi_{i_1, i_2, \dots, i_{n_l-1}}(LF_{i_1, i_2, \dots, i_{n_l-1}, i_{n_l}}, DF(LF_{i_1, i_2, \dots, i_{n_l-1}, i_{n_l}}), i = 1, N_{i_1, i_2, \dots, i_{n_l-1}}) \quad (2.2)$$

Где: $N_{i_1, i_2, \dots, i_{n_l-1}}$ — общее количество элементов логической функции, непосредственно подчиненных в $LF_{i_1, i_2, \dots, i_{n_l-1}}$;
 $DF(LF_{i_1, i_2, \dots, i_{n_l-1}})$ — все потоки данных, входящие в данный функциональный элемент или исходящие из него;
 $\psi_1, i_2, \dots, i_{n_l-1}$ — отображение.

(3) Физическая архитектура

Физическая архитектура предназначена для описания архитектуры ИТС с точки зрения реализации системы. Физическая архитектура получается путем реорганизации логических функций в соответствии с целями и методами реализации. Логические функции с похожими функциями и легко реализуемыми вместе объединяются в элементы физической системы, такие как системные модули, подсистемы и системы [30,45,46]. Он предоставляет важные интерфейсы ИТС, а также физические представления основных компонентов системы. Подобно логической архитектуре, основные проявления физической архитектуры включают в себя: элементы физической системы, отображаемые в виде списка иерархической структуры, потоки архитектуры, выражающие интерактивные отношения между

физическими элементами системы, и диаграмма потоков архитектуры, которая всесторонне отображает содержание физической архитектуры [47,48,49].

1) Элементы физической системы

Трехуровневая иерархическая структура, состоящая из системы, подсистемы и системного модуля, в совокупности называется физическими элементами системы (Physical System Elements, PS), которая получается путем реорганизации функций логических функциональных элементов. То есть:

- а) Система, представленная $PS_i (i = 1, \dots, K)$, где K — общее количество систем;
- б) Подсистема (Подсистема), представленная $PS_{i,j} (j = 1, \dots, K_i)$, K_i — общее количество подсистем в рамках системы PS_i ;
- в) Системный модуль (System Module), представленный $PS_{i,j,k} (k = 1, \dots, K_{ij})$, K_{ij} — общее количество системных модулей подсистемы PS_i .

Множество всех элементов физической системы обозначается как PS.

2) Поток архитектуры

Поток архитектуры (Architecture Flow, AF) — еще один важный элемент физической архитектуры, который используется для описания взаимосвязей между двумя элементами физической системы на одном уровне. Поток архитектуры состоит из потоков данных в соответствии с реорганизацией логических функций [50,51,52].

Для любых двух систем PS_{i_1} и $PS_{i_2} (i_1, i_2 = 1, \dots, K)$ с определенным взаимосвязью данных поток архитектуры между ними записывается как $AF(PS_{i_1}, PS_{i_2})$.

Аналогично, поток архитектуры между любыми двумя подсистемами PS_{i_1,j_1} и $PS_{i_2,j_2} (i_1, i_2 = 1, \dots, K; j_1, j_2 = 1, \dots, K_i)$ обозначается как $AF(PS_{i_1,j_1}, PS_{i_2,j_2})$; Любые два системных модуля PS_{i_1,j_1,k_1} и $PS_{i_2,j_2,k_2} (i_1, i_2 = 1, \dots, K; j_1, j_2 = 1, \dots, K_i; k_1, k_2 = 1, \dots, K_{ij})$ Поток архитектуры между ними обозначается как $AF(PS_{i_1,j_1,k_1}, PS_{i_2,j_2,k_2})$. Для удобства обозначатся все потоки архитектуры, входящие в данный физический элемент системы (PS) или исходящие из него, как $AF(PS)$.

3) Диаграмма потоков архитектуры

Диаграмма потоков архитектуры (Architecture Flow Diagram, AFD) представляет собой комплексное отображение физической архитектуры с превосходной наглядностью и удобочитаемостью. Диаграмма потоков архитектуры состоит из физических элементов системы и архитектурных потоков между ними. На рисунке элементы физической системы представлены прямоугольниками, помеченными внутри цифрами и именами, потоки архитектуры между элементами физической системы представлены стрелками, помеченными именами между ними [52,53].

Диаграмма потоков архитектуры также разделены на различные уровни.

а. Диаграмма потоков архитектуры на уровне системы.

Она используется для описания того, какие системы составляют ИТС, взаимосвязей между системами и взаимосвязей между ИТС и внешней средой, которые могут быть выражены как:

$$AFD_0 = \Phi_0(PS_i, AF(PS_i), i = \overline{1, K}) \quad (2.3)$$

Где: Φ_0 — отображение.

б. Диаграмма потоков архитектуры на уровне подсистемы.

Он используется для описания того, из каких подсистем состоит каждая система, взаимосвязей между каждой подсистемой и взаимосвязей между системой и внешней средой. Диаграмма потоков архитектуры системы PS_i может быть выражена как:

$$AFD_i = \Phi_i(PS_{i,j}, AF(PS_{i,j}), j = \overline{1, K_i}) \quad (2.4)$$

Где: Φ_i — отображение.

в. Диаграмма потоков архитектуры на уровне системного модуля.

Он используется для описания того, из каких системных модулей состоит каждая подсистема, взаимосвязей между системными модулями и взаимосвязей между подсистемой и внешней средой. Блок-схема архитектуры подсистемы $PS_{i,j}$

может быть выражена как:

$$\text{AFD}_{i,j} = \Phi_{i,j}(\text{PS}_{i,j,k}, \text{AF}(\text{PS}_{i,j,k}), k = \overline{1, K_{ij}}) \quad (2.5)$$

Где: $\Phi_{i,j}$ — отображение.

(4) Система приложений

Чтобы лучше интегрировать архитектуру ИТС с реальностью, в качестве элемента архитектуры нового типа вводится понятие системы приложений (Application System, AS). Системы приложений представляет собой реальную систему ИТС, сформированную путем реорганизации системных модулей в соответствии с потребностями пользователей и рынка.

Системы приложений обозначаются как $\text{AS}_i (i = 1, \dots, L)$, где L — общее количество системы приложений.

2.4 Метод разработки архитектуры интеллектуальных транспортных систем Китая

Разработка архитектуры ИТС может следовать порядку пользовательских сервисов, логической архитектуры и физической архитектуры, но с точки зрения каждой связи она должна поддерживаться углубленными и подробными шагами и теориями разработки [30,54,55]. В то же время для ключевых звеньев развития архитектуры, таких как определение терминаатора, переход от пользовательских сервисов к логической архитектуре, переход от логической архитектуры к физической архитектуре, необходимо сформулировать определенные принципы и спецификации, а не полагаться исключительно на субъективное мнение разработчиков [13,14].

Далее основное внимание будет уделено этапам разработки каждой части и ключевым моментам, в соответствии с общей последовательностью разработки, от пользовательских сервисов к логической архитектуре, от логической архитектуры к физической архитектуре [30, 56 ,57].

1. Определение терминаатора

Являясь границей системы ИТС, терминатор соединяет систему ИТС с внешней средой и является конечной точкой потока данных и потока архитектуры ИТС [15,16,17]. Терминатор четко определен, то есть определен функциональной диапазон ИТС, что позволяет избежать повторного создания потоков данных и потоков архитектуры ИТС из-за перекрытия функций терминаторов и подсистем [30].

В этой работе дается принцип определения терминатора:

(1) Терминатор не распределяет функции в архитектуре, то есть терминатор должен представлять собой сущность, не включающую в себя функции системы ИТС. Он определяет функции, которые архитектура должна получить от внешней среды, и информации, которую можно предоставить внешней среде. Терминатор может быть организацией, системой, объектом (физическими объектами, который может предоставлять информацию, например, дороги) и т. д [30].

(2) При определении начальной и конечной точки потока данных, когда логические функциональные элементы внутри системы ИТС не могут удовлетворить

потребности, конечная точка этого потока данных должна быть определена как терминатор.

Терминаторы могут быть пользователями (менеджеры данных, водители грузовиков, общие водители и т. д.), окружающей средой (природная среда, дорожная среда, зона пересадки, транспортная среда, характеристики транспортных средств и т. д.), другими системами (системы ИТС в других областях и т. д.) [30].

2. Сервис пользователя

Сервис пользователей ИТС с точки зрения системы описывает содержание сервиса, которую система ИТС может предоставить пользователям, и определяет объем сервисов, которые может предоставить ИТС, что является основой для построения архитектуры [18,19].

С точки зрения этапов разработки, сначала необходимо определить пользователей системы, а именно субъект пользователя; затем проанализировать транспортные потребности каждого субъекта пользователя и уточнить сервисное содержание, который ИТС может предоставить для различных потребностей пользователей; при этом учиться на опыте сервисов пользователей ИТС в развитых странах [20]. Включать новые потребности и новый содержание, появившиеся в ходе развития ИТС Китая в последние годы, применять метод разделения сервисов, который ближе к различным пользователям, а также анализировать и обобщать пользовательские сервисы ИТС [30].

3. Логическая архитектура

Логическая архитектура описывает логические функции, которые должна иметь система для реализации пользовательских сервисов ИТС, и взаимодействие данных между функциями. При построении логической архитектуры, независимо от конкретных институциональных и технических факторов, она определяет только функции системы, необходимые для удовлетворения требований сервисов пользователей, и поток данных между функциями, независимо от того, какой конкретный отдел реализует функцию и как ее реализовать, поэтому чтобы избежать воздействия на архитектуру из-за быстрого развития технологий. В развитии архитектуры ИТС логическая архитектура играет переходную роль, реализуя

разумный переход от пользовательских сервисов к физической архитектуре [30].

В этой работе предполагается, что этапы разработки логической архитектуры в основном включают:

(1) Преобразование пользовательских сервисов в логические элементы. Для каждой пользовательской сервиса, с точки зрения того, какие функции требуются для предоставления этой сервиса, она постепенно декомпозируется сверху вниз для получения различных логических элементов и информации, передаваемой между ними, до тех пор, пока логические элементы больше не могут быть декомпозированы. Установленная многоуровневая логическая модель обычно выражается в виде диаграммы потока данных [30].

(2) Интегрировать логические элементы для формирования их иерархической диаграммы. Различные логические элементы, полученные на шаге (1), могут иметь отношение включения или параллельное отношение с точки зрения иерархии, или включение, пересечение, повторение с точки зрения содержания, а разные сервисы могут иметь одинаковые требования к логическим элементам. Поэтому необходимо повторно интегрировать логические элементы. Так называемая интеграция заключается в классификации различных логических элементов в (1) и объединении подобных элементов без привлечения каких-либо конкретных физических факторов. Кроме того, логические элементы, полученные в результате преобразования сервисов в различных областях сервисов, могут быть интегрированы в соответствии с требованиями классификации, чтобы получить иерархическую диаграмму логических элементов с кратким и разумным содержанием [30].

(3) При выполнении шагов (1) и (2) можно получить потоки данных логических элементов. При анализе логических элементов было получено информационное взаимодействие между логическими элементами, то есть потоками данных логических элементов. Поэтому процесс интегрирования логических элементов на шаге (2) также является процессом объединения потока данных логических элементов на шаге (1), тем самым получая окончательные диаграммы потоков данных логических элементов (Data Flow Diagram, DFD) [30].

Следует отметить, что в архитектуре ИТС потоки данных логических элементов

следует принципам целостности и непротиворечивости данных между верхним и нижним уровнями, а также между одним и тем же уровнем. То есть поток данных верхнего уровня может найти свой прототип в потоке данных нижнего уровня, а поток данных нижнего уровня может быть включен в поток данных верхнего уровня или в функцию верхнего уровня; поток данных в различных диаграммах потоков данных обеспечивают одинаковые начальные и конечные точки, как показано на рис. 2.4 (Функциональные домены - 1, 2, 3 ...; системные функции - 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 3.1, ...; функции – 1.1.1, 1.1.2, 1.2.1, 2.1.1, 2.2.1, 3.1.1, 3.1.2, ...) [13].

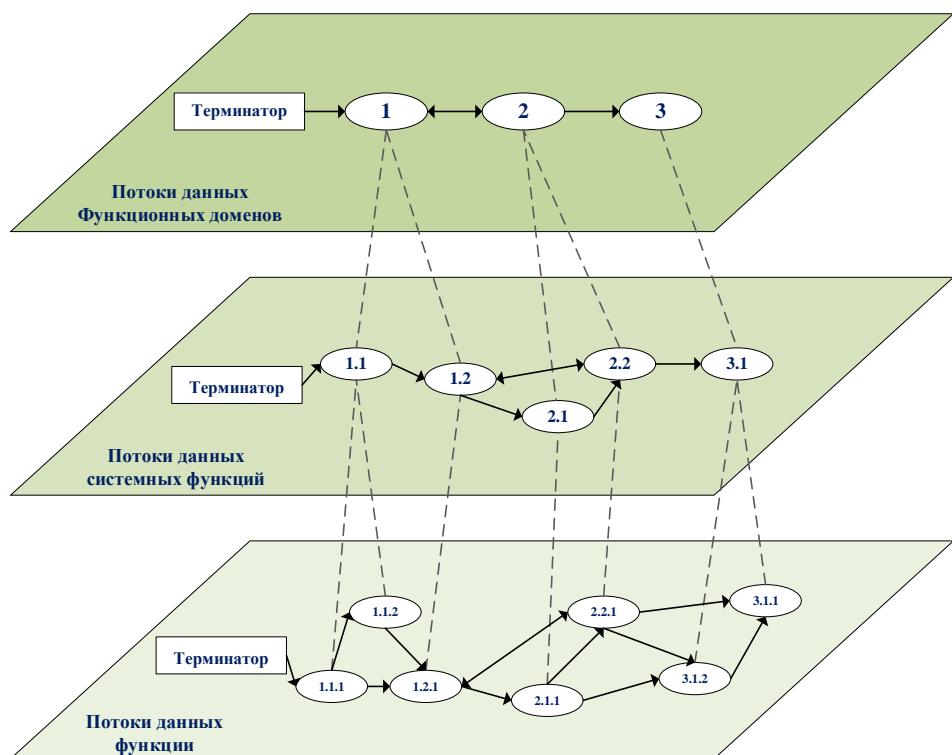


Рис. 2.4 - Диаграмма уровней взаимосвязи потоков данных логической архитектуры ИТС

(4) На основе потоков данных логических элементов, полученного на этапе (3), создается диаграмма потоков данных логических элементов соответствующего уровня.

Кроме того, при выполнении анализа шагов (1) и (2) определяются логические элементы и при необходимости предоставьте хранилище данных [30].

4. Физическая архитектура

Физическая архитектура — это физическое описание функций, необходимых

для проведения пользовательских сервисов. Она в основном описывает физические объекты, составляющие ИТС, и взаимосвязь между объектами, включая системы, подсистемы, системные модули, приложения и потоки архитектуры.

Физическая архитектура основана на диаграмме иерархии логических функций и в то же время учитывает взаимосвязь между потоками данных логических элементов, с точки зрения того, как реализовать каждую функцию, всесторонне учитывает место проведения функции и удобство проведения и т. д., чтобы объединить логические функциональные элементы [30]. Различные комбинации логических функциональных элементов могут привести к различным физическим элементам системы, поэтому между логическими функциональными элементами и физическими элементами системы существует связь «многие ко многим». Взаимосвязи показаны на рис. 2.5 [13].

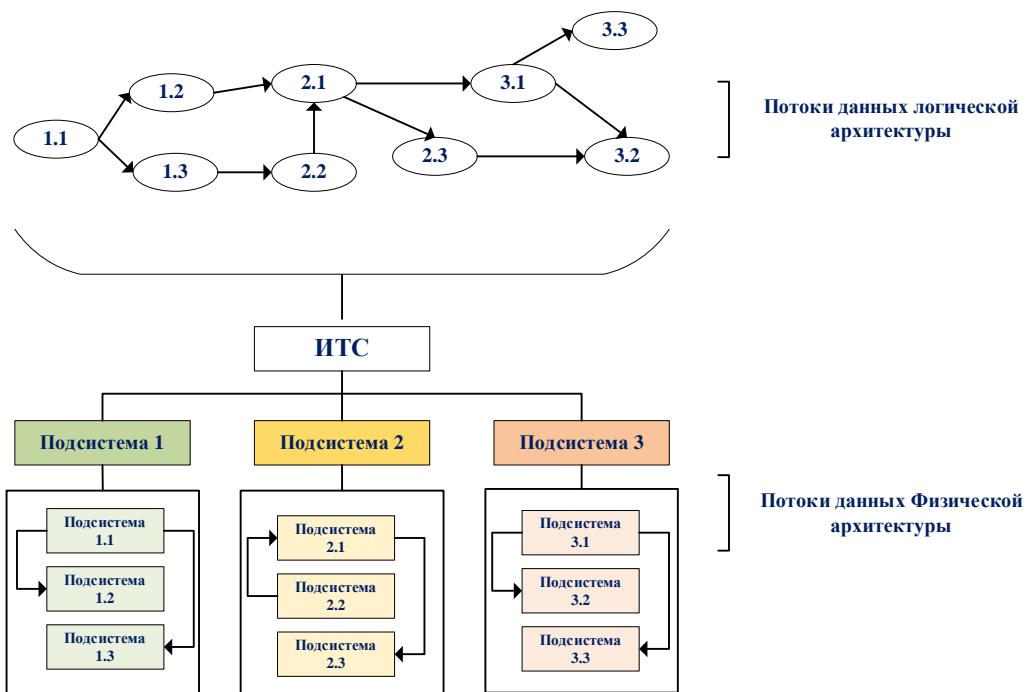


Рис. 2.5 - Преобразование логических функциональных элементов ИТС
в физические элементы систем

С точки зрения этапов разработки его можно в основном разделить на пять этапов: разделение системы - разделение подсистемы - разделение системного модуля - создание потоки архитектуры физических элементов - черчение потоки архитектуры физических элементов.

(1) При разделении системы учитываются такие факторы, как китайские системы управления дорожным движением, и в основном используется функциональные отделы в качестве разделения, чтобы максимально обеспечить согласованность с китайскими системами управления дорожным движением в ИТС, охватывая все пользовательские сервисы ИТС [30].

(2) Подсистемы являются частью системы. Принимая четыре категории людей, транспортных средств, дорог и окружающей среды в традиционной организации дорожного движения в качестве руководящей идеологии, в сочетании с реальной ситуацией и ссылаясь на метод разделения зарубежных физических подсистем, дается основа для разделения физических подсистем китайской ИТС, то есть, для логического процесса, содержащегося в каждой системе, делится на подсистемы, основанные на людях, транспортных средствах, периферийных полях и центрах, в сочетании с фактическим рабочим содержанием и процессами, так что каждая подсистема соответствует реальным сценам, при этом существующая инфраструктура используется эффективно [30].

(3) Системные модули являются основой для составления подсистем. Подсистема обычно имеет несколько функций, а системный модуль представляет собой декомпозицию функций подсистемы, которая является основой всей физической архитектуры и частью, тесно связанной с логической архитектурой и физической архитектурой.

В процессе проектирования модулей физической системы ИТС необходимо учитывать следующие факторы: соответствующее количество модулей, функциональное единство внутри модулей, независимость между модулями, возможность сборки модулей, технологическая осуществимость и технологическая зрелость. Особо подчеркивается, что независимые модули могут снизить требования к интерфейсу между различными устройствами, что полезно для проведения системы приложений ИТС [30].

(4) Потоки архитектуры физических элементов описывают связь между физическими элементами системы и дают взаимосвязь между различными физическими объектами, что является важной частью физической архитектуры ИТС.

Потоки архитектуры физических элементов получается на основе потоков данных логических элементов, который представляет собой комбинацию потоков данных логических элементов. Через поток архитектуры элементы физической системы интегрируются для получения системы ИТС с высокой когезией и низким уровнем связанности [30].

5. Система приложений

Физическая архитектура, полученная традиционными методами разработки, имеет ограничения. При планировании, оценке и построении региональной ИТС на основе этой физической архитектуре возникает большое различие между теорией и реальной системой, что приводит к невозможности качественного проведения ИТС. Таким образом, предлагается концепция систем приложений [30].

Системы приложений соответствует подсистеме по уровням. Как системы приложений, так и подсистемы базируются на системных модулях.

Подсистема — это виртуальный элемент в физической архитектуре, эталон разделения физической архитектуры, не соответствующий реальной системе. Например, подсистема центра информационного обслуживания дорожного движения, подсистема центра управления общественным транспортом и т. д. Возможно, нет необходимости строить каждый центр отдельно в фактическом строительстве, а выполнять комбинированное строительство в соответствии с фактическими системами строительства и фактическими потребностями и т. д. При этом модули системы, содержащиеся в каждой подсистеме, не повторяются [30].

Система приложений основана на потребностях пользователей и достигает цели предоставления пользовательских сервисов за счет различных комбинаций системных модулей. Модули систем, включенные в различные системы приложений, могут частично повторяться, что обеспечивает гибкую систему с различными функциями и техническими требованиями, чтобы вести фактическое строительство, такие как региональные адаптивные системы управления сигналами, системы приоритета специальных транспортных средств и т. д. [30]

С точки зрения этапов разработки построение систем приложений может включать следующие этапы:

1) Ориентация на спрос, объединение системных модулей для формирования физических систем ИТС, которые можно увидеть на рынке и на практике.

2) Чертить схему состава систем приложений. На основе системных модулей, составляющих систему приложений, и потоков архитектуры их физических элементов строится схема состава систем приложений.

(3) Определить системы приложений, соответствующую пользовательскому сервису. На этом шаге, с одной стороны, можно проверить, предоставляются ли пользовательские сервисы, а с другой стороны, можно установить соответствующую связь между пользовательскими сервисами и системой приложений, что удобно для популяризации и применения архитектура [30].

В соответствии с описанным выше процессом разработки был разработан алгоритм, как показан на рис. 2.6:

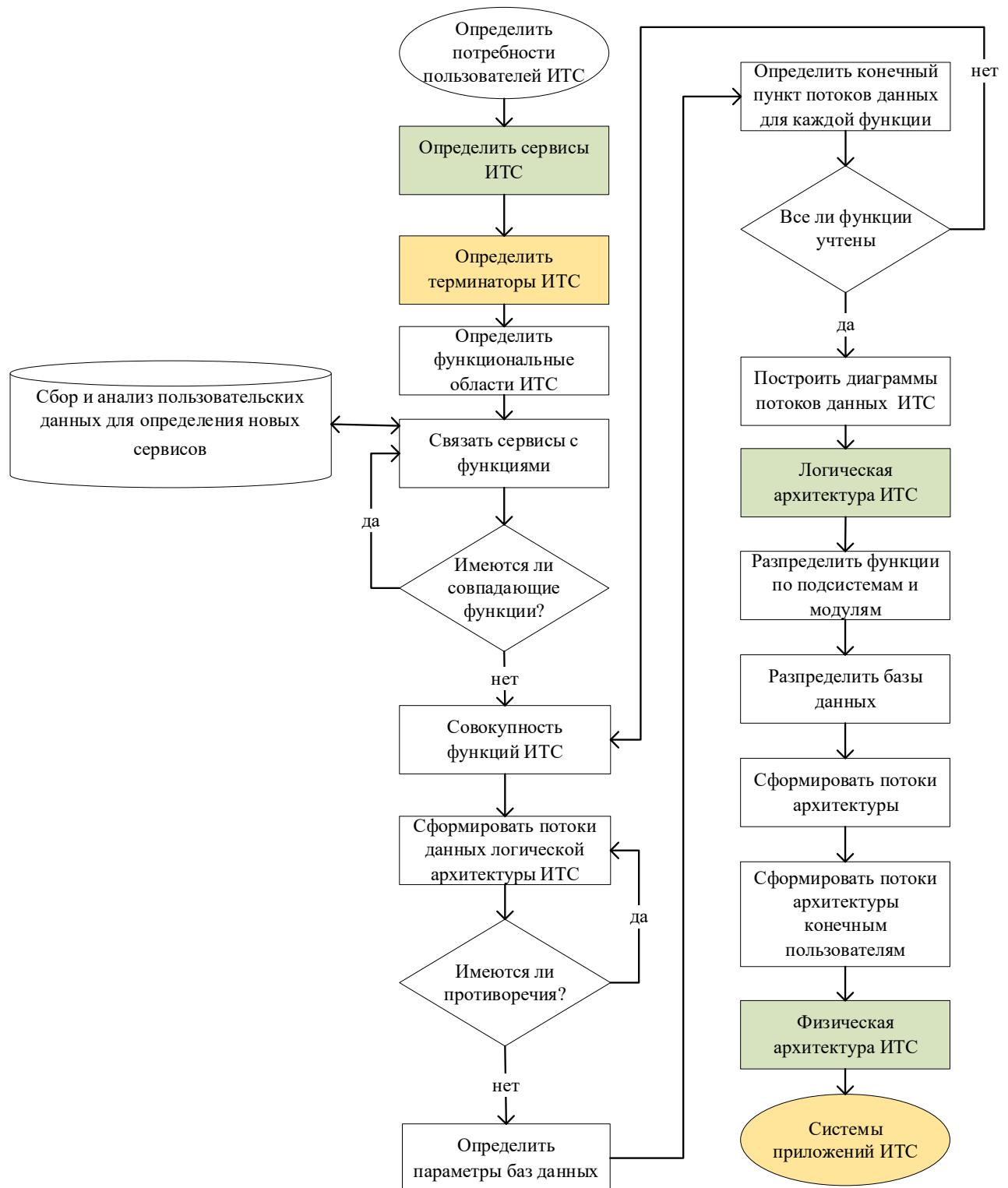


Рис. 2.6 - Алгоритм разработки архитектуры ИТС, адаптированный к практике КНР

Выводы по главе

1. Чтобы провести системный анализ, мы должны начать с анализа внешней среды системы и определить границы системы, то есть внешний интерфейс системы и основные функции, которые система должна выполнять. Следовательно, для большой системы ИТС, включающей дороги, людей, окружающую среду, транспортные средства и другие факторы, первым шагом в установлении ее системной архитектуры является определение объема ИТС, то есть определение терминаторов ИТС [30].

2. Иерархическая диаграмма логических элементов перечисляет систему ИТС, состоящую из функциональных доменов, функций и подфункций, и наглядно показывает иерархические отношения между логическими элементами.

3. Диаграмма потоков архитектуры физических элементов ИТС изображает соединения потоков архитектуры между системами ИТС, подсистемами, системными модулями, элементами и терминаторами в многоуровневой форме, она должна включать упрощенную диаграммы физической архитектуры ИТС, диаграммы физической архитектуры ИТС верхнего уровня, диаграммы потоков архитектуры уровня подсистемы и диаграммы потоков архитектуры уровня системного модуля [30].

4. Технология ИТС быстро развивается. С развитием технологий и углублением конструкции ИТС список систем приложений будет динамически обновляться, дополняться и совершенствоваться.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА РЕГИОНАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

3.1 Обзор региональной архитектуры ИТС

Концепция региональной архитектуры ИТС впервые была предложена США. Его базовое позиционирование – региональная архитектура, созданная для обеспечения ведомственной координации и технической интеграции при реализации регионального проекта ИТС. Региональная архитектура ИТС определяет элементы и обмен информацией многих существующих или планируемых проектов ИТС в регионе. Уточняя, как сотрудничать и работать между соответствующими агентствами, видами транспорта и системами приложений, она может продвигать ИТС в эффективной интеграции [58, 59, 60].

В процессе подачи заявки так называемая региональная архитектура ИТС представляет собой всестороннее и всестороннее описание ИТС региона. В частности, в качестве объекта принимает определенный регион под руководством национальной архитектуры ИТС, в соответствии с текущей ситуацией и потребностями. Характеристик региона, определить потребности пользователей региона в ИТС, услуги, которые ИТС должна предоставлять для удовлетворения потребностей пользователей, имеющиеся у нее функции, создаваемые системы приложений, взаимосвязь и методы интеграции между различными системами приложений, а также ключевые моменты должны быть четко определены. Элементы существующих и планируемых систем приложений ИТС, а также содержание и методы обмена информацией обеспечивают базовую основу для совместного использования, обмена и координации информации между соответствующими департаментами в регионе [61, 62]. Так называемый «регион» здесь относится к географической области в рамках одной или нескольких административных или функциональных юрисдикций, которая может быть провинцией или несколькими провинциями, городом или несколькими городами, транспортным коридором и т. д.

Роль и значение разработки региональной архитектуры ИТС заключается в следующем:

- (1) Предоставить макроруководство и программные документы для развития ИТС в этом регионе, а также наметить будущий план и общую архитектуру ИТС в этом регионе.
- (2) Обеспечить базовую основу для будущих исследований, планирования и строительства ИТС в этой области.
- (3) Обеспечить гарантию взаимосвязи ИТС в этом регионе и совместимость с ИТС в других регионах.
- (4) Способствовать интеграции различных систем приложений ИТС в регионе и в полной мере использовать ограниченные ресурсы системы транспорта и информационные ресурсы.
- (5) Это помогает уточнить обязанности всех сторон в строительстве региональных ИТС, чтобы координировать соответствующие отделы и содействовать эффективному и стандартизированному строительству региональных ИТС.

3.2 Связь между региональной архитектурой и национальной архитектурой

Национальная архитектура ИТС представляет собой программный документ, который играет стратегическую руководящую роль в развитии национальной интеллектуальной транспортной системы и является гарантией беспрепятственного внедрения и стандартизированного развития ИТС по всей стране. В принципе, любое региональное поведение, связанное с ИТС, должно соответствовать национальной архитектуре ИТС [63, 64].

Однако развитие дорожного движения в разных регионах Китая различно, спрос на ИТС совершенно разный, и система государственного управления, связанная с ИТС, также различна в каждом регионе. Национальная архитектура ИТС должна учитывать обстоятельства различных мест из-за ее универсального применения, и невозможно быть очень конкретным. Поэтому трудно напрямую ссылаться на национальную архитектуру ИТС для руководства планированием и внедрением региональных ИТС, которые трудно удовлетворить фактические потребности различных регионов[65, 66, 67].

Региональная архитектура ИТС является дальнейшим расширением национальной архитектуры ИТС и воплощением национальной архитектуры в определенном регионе, которая будет играть очень хорошую дополнительную роль по отношению к национальной архитектуре. Региональная архитектура может непосредственно направлять и регулировать строительство ИТС в регионе.

Взаимосвязь между региональной архитектурой ИТС и национальной архитектурой ИТС можно резюмировать в двух аспектах:

(1) Региональная архитектура представляет собой дальнейшее уточнение и конкретизацию национальной архитектуры в соответствии с реальной ситуацией в регионе.

Чтобы сформулировать региональную архитектуру ИТС, мы должны указать содержание, которое не должно быть детализировано в национальной архитектуре, чтобы обеспечить универсальность в соответствии с реальной ситуацией в регионе, чтобы непосредственно направлять строительство ИТС в регионе.

(2) Региональная архитектура должна основываться на национальной архитектуре.

Региональная архитектура должна строго следовать национальной архитектуре с точки зрения основного содержания, определения формата и системного интерфейса, чтобы обеспечить согласованность с национальной архитектурой и совместимость с ИТС в других регионах в будущем процессе доступа.

3.3 Подходы к разработке региональной архитектуры ИТС

В настоящее время существует два метода построения региональной архитектуры ИТС.

Один из них заключается в непосредственном выборе соответствующих элементов физической архитектуры в национальной архитектуре на основе национальной архитектуры ИТС и в соответствии с фактическими потребностями региона, когда национальная архитектура относительно завершена, и добавлении регионального персонализированного контента в соответствии с фактическими потребностями. Следует сказать, что этот технический маршрут является кратчайшим путем для развития региональной архитектуры ИТС. Однако существует очень важная предпосылка для принятия этого технического маршрута, то есть он должен основываться на достаточно полной национальной архитектуре.

Другой заключается в том, что, когда национальная архитектура несовершенна, развитие региональной архитектуры должно принимать общий процесс, основанный на развитии архитектуры, и полностью учитывать фактические потребности региона на каждом этапе. Этот метод громоздкий, но он подходит для разработки региональной архитектуры, когда национальная архитектура ИТС несовершенна [68, 69].

Поскольку национальная архитектура ИТС США относительно завершена, при разработке их региональной архитектуры ИТС обычно используется метод первого типа, то есть за основу непосредственно берется национальная архитектура, выбираются рыночные пакеты, подходящие для реальных потребностей регион, и специально разрабатывает национальную архитектуру непосредственно Программное обеспечение для архитектуры Turbo, которое генерирует архитектуру области [70, 71, 72].

На современном этапе в Китае национальная архитектура ИТС недостаточно совершенна, поэтому текущее развитие региональной архитектуры ИТС в Китае пропагандирует использование второго метода.

Конкретно:

(1) Пользовательская сервисная часть

Эта часть должна максимально соответствовать национальной архитектуре, но некоторый контент может быть добавлен, удален или ослаблен в соответствии с реальной ситуацией в регионе.

(2) Часть логической архитектуры

Эта часть не является ключевым моментом для региональной архитектуры, при определенном совершенствовании национальной архитектуры эту часть можно пропустить при развитии региональной архитектуры, но на данном этапе должен быть осуществлен переход по логической архитектуре части. Метод разработки и форма выражения этой части в основном одинаковы для национальной архитектуры и региональной архитектуры, но должны быть отражены различия между региональными пользовательскими услугами ИТС и национальной архитектурой.

(3) Часть физической архитектуры

Это ключевая часть, которая может отражать характеристики региональной архитектуры, а также основная цель разработки региональной архитектуры, которую можно непосредственно использовать для руководства построением региональной ИТС. Для полного отражения характеристик региональной архитектуры и особенностей региона, а также для облегчения пользователей региональной архитектуры ИТС следует предложить различные формы региональной физической архитектуры, отличные от национальной архитектуры, такие как основная тело конструкции, конкретные системы и различные уровни рассмотрения.

3.4 Региональный проект по развитию архитектуры ИТС на примере города Пекина

Региональная архитектура ИТС представляет собой исчерпывающее и всестороннее описание определенной региональной ИТС. В частности, взяв определенный регион в качестве объекта, под руководством национальной архитектуры ИТС, в соответствии с текущей ситуацией и характеристиками региона, определите требования пользователей к ИТС в регионе, услуги, которые ИТС должны предоставлять для удовлетворения пользователя. требования, имеющиеся функции, созданные системы приложений, взаимосвязь и методы интеграции между различными системами приложений, основное внимание должно быть уделено четкому определению элементов, содержания и методов обмена информацией существующих и планируемых систем приложений ИТС в регионе, а также обеспечивает базовую основу для обмена информацией, обмена и координации между соответствующими департаментами в регионе [73, 74, 75].

Региональная архитектура ИТС является дальнейшим расширением национальной архитектуры ИТС и воплощением национальной архитектуры в определенном регионе, которая может непосредственно направлять и стандартизировать строительство ИТС в регионе.

Учитывая особенности среды разработки ИТС в Китае и существенные региональные различия, предлагается метод разработки региональной архитектуры ИТС, соответствующий китайской специфике, а именно: пользовательские сервисы максимально приближены к национальной архитектуре, и в то же время скорректированы в соответствии с фактическими ситуация в регионе; логическая архитектура в основном используется в качестве пользовательских услуг по отношению к физической архитектуре. Для содержания, соответствующего национальной архитектуре, этап логической архитектуры может быть пропущен; Физическая архитектура должна быть акцентирована, чтобы полностью отражать региональные особенности. С системой приложений в качестве объекта, могут быть использованы различные подходы, которые будут удобны как для лиц, принимающих решения, так и для пользователей архитектуры. Способ выражения заключается в том,

чтобы выразить региональную физическую систему ИТС всесторонне и трехмерно. Учитывая, что на текущем этапе строительство ИТС в различных регионах только начинается, различия между регионами значительны, а новые требования постоянно возникают, предлагается конкретный план реализации региональной архитектуры в Китае. А именно, использовать общий процесс, основанный на разработке архитектуры, и на каждом этапе полностью учитывать общую техническую стратегию, отвечающую реальным региональным потребностям. Что касается содержания услуг для пользователей с учетом региональных особенностей, необходимо разработать логическую архитектуру в качестве промежуточного перехода.

Региональная архитектура ИТС Пекина

Региональная архитектура ИТС Пекина основана на национальной архитектуре ИТС Китая (второе издание), полностью учитывает региональные особенности Пекина и составлена в соответствии с методом разработки региональной архитектуры ИТС. Характеристики пекинской архитектуры ИТС в основном отражены в следующих аспектах:

(1) Пекинская архитектура ИТС построена на основе комплексной информационной платформы транспорта, которая отражает характерный транспорт Пекина.

На основе анализа текущей ситуации с развитием транспорта и спросом на транспорт в Пекине построена комплексная и целенаправленная региональная архитектура ИТС Пекина. Архитектура воплощает в себе следующие характерные требования: Пекин, как столица и политический и международный обменный центр Китая, имеет много крупномасштабных международных мероприятий и должен иметь эффективные аварийно-спасательные, командно-диспетчерские и гарантийные возможности для крупных мероприятий; автомобили быстро растут, и заторы на дорогах становятся все более и более серьезными, срочно нужны новые технологии, чтобы облегчить их; отсутствие эффективного обмена информацией о дорожном движении и отказ от эффективной интеграции ресурсов транспортной системы ограничивают полную эффективность транспортной системы Пекина,

и интегрированная транспортная информационная платформа будет играть в этом важную роль.

(2) Пекинская архитектура ИТС провела подробный и глубокий анализ системы приложений, и для обеспечения удобства использования и удобочитаемости архитектуры архитектура использует различные способы отображения результатов.

Для построения региональной архитектуры ИТС одной из ключевых задач является описание систем ИТС и взаимосвязей между системами, отражающих региональные потребности. Таким образом, Пекинская архитектура ИТС провела подробный и глубокий анализ систем приложений. На основе системы приложений национальной архитектуры ИТС и со ссылкой на содержание анализа спроса пекинской ИТС была создана комплексная информационная платформа транспорта, основанная на предлагаются потребности и тенденции развития дорожного движения в Пекине. Каждая система приложений анализируется с точки зрения общей взаимосвязи систем приложений, состава систем приложений, основной части построения систем приложений и ситуации построения систем приложений с макроуровня и микроуровня. Результаты анализа выдаются в виде графиков и текстов.

3.4.1 Основное содержание архитектуры ИТС Пекина

Основное содержание архитектуры ИТС Пекина включает в себя следующие аспекты:

(1) Потребности ИТС Пекина. На основе анализа текущего состояния развития ИТС в Пекине и учитывая политическое, экономическое и культурное положение Пекина в Китае, а также географические особенности города, систематически анализируются проблемы развития транспорта в международном мегаполисе. Также учитывая специальные потребности в транспортной инфраструктуре в связи с проведением Олимпийских игр и тенденции развития ИТС, суммируются потребности Пекина в ИТС.

(2) Услуги ИТС для пользователей Пекина. На основе анализа потребностей ИТС Пекина и принципов преобразования услуг для пользователей архитектуры,

ссылаясь на национальные услуги ИТС для пользователей, выводятся услуги ИТС для пользователей Пекина.

(3) Логическая архитектура ИТС Пекина. На основе услуг ИТС для пользователей Пекина и методов разработки региональной архитектуры ИТС получаются иерархическая таблица логической архитектуры ИТС Пекина и диаграмма логических потоков данных, что позволяет осуществить переход от услуг для пользователей к физической архитектуре.

(4) Физическая архитектура ИТС Пекина. На основе логической архитектуры ИТС Пекина и национальной архитектуры ИТС, используя методы разработки архитектуры, получаются иерархическая таблица физической архитектуры ИТС Пекина и диаграмма физической архитектуры.

(5) системы приложений ИТС Пекина. На основе физической архитектуры ИТС Пекина и принципов проектирования прикладных систем архитектуры, с учетом существующих проектов и инженерных работ в области ИТС Пекина, а также тенденций и особенностей развития ИТС Пекина, формируется система приложений ИТС Пекина, включающая 61 системы приложений, с детальным анализом каждой системы с макроуровнем и микроуровнем.

Потребности ИТС Пекина являются основой для услуг ИТС для пользователей Пекина. Услуги пользователей ИТС описывают сервисы, которые ИТС может предоставить общественности. Логическая архитектура ИТС Пекина описывает функции, необходимые для предоставления услуг пользователям. Физическая архитектура ИТС Пекина описывает конкретные формы реализации этих логических функций. Системы приложений ИТС Пекина связывает уже построенные и планируемые к постройке системы и проекты в области ИТС, а также системы и проекты, требующиеся в соответствии с тенденциями развития ИТС, с физической архитектурой. Таким образом, потребности ИТС Пекина, услуги для пользователей ИТС Пекина, логическая и физическая архитектура ИТС Пекина, а также системы приложений ИТС Пекина составляют часть исследования архитектуры ИТС Пекина.

3.4.2 Пример детальной архитектуры ИТС в городе Пекина

Ввиду того, что системы приложений ИТС является важной частью региональной архитектуры, а также основным достижением региональной архитектуры, в этом разделе в качестве примера выбрана пекинская система приложений ИТС, и обсуждается общая архитектура, представлен физический состав и различные области применения пекинской прикладной системы ИТС, взаимодействие данных, внутреннее взаимодействие данных каждой области приложений и архитектура каждой системы приложений.

Система приложений Пекинской архитектуры ИТС использует комплексную платформу информации о дорожном движении Пекина в качестве ядра и создает 7 подплатформ: информационная платформа управления дорожным движением, информационная платформа управления пассажирским транспортом, информационная платформа управления грузоперевозками, платформа управления информацией о городском общественном транспорте, информационная платформа инфраструктуры дорожного движения, платформа службы дорожной информации, платформа безопасности и аварийно-спасательных служб. Интеллектуальная система шоссе эквивалентна подплатформе в области интеллектуального шоссе и безопасного вождения. В области электронного сбора платы за проезд нет отдельной подплатформы, и каждая система приложений в этой области находится в одном и том же положении в системе приложений. В результате был сформирован крупномасштабный сбор и управление информацией о дорожном движении в Пекине, который не только удовлетворяет потребности в данных различных отраслей и разных уровнях, но и распределяет давление управления информацией о дорожном движении в Пекине через различные бизнес-платформы.

Основываясь на основных функциях платформы информации о дорожном движении (включая платформу комплексной информации о дорожном движении в Пекине и 7 подплатформ), она позиционируется как канал быстрого обмена данными и глубокой обработки данных, и в то же время учитывает построение уровней различных систем ИТС в Пекине и обмен информацией между системами.

Он неравномерен, поэтому принципы передачи данных между системами приложений ИТС даны в сочетании с фактическим состоянием строительства, для справки при планировании и строительстве ИТС: а. Резервирование информационных каналов между существующими системами; б. Не выполнять прямое строительство, а поощрять использование информационных путей, предоставляемых платформой информации о дорожном движении; в. Платформа информации о дорожном движении обеспечивает информационные пути между системами с определенными полномочиями.

Пекинская архитектура ИТС провела подробный анализ системы приложений ИТС и описала ее с разных точек зрения в виде диаграмм и таблиц, в основном включающих следующее содержание:

(1) Общий структурный анализ. В основном это изображается в виде диаграмм, включая схематическую диаграмму состава области приложений и схематическую диаграмму иерархической структуры системы приложений ИТС.

Рис. 3.1 представляет собой схематическую диаграмму состава областей применения ИТС в Пекине, которая описывает взаимосвязь между различными областями пекинской системы ИТС с управлением данными ИТС (платформа всеобъемлющей информации о дорожном движении) в качестве ядра.



Рис. 3.1 - Схема системы приложений ИТС в Пекине

Рис. 3.2 представляет собой схематическую диаграмму иерархической структуры системы приложений ИТС в Пекине, на которой подробно перечислены системы приложений ИТС в различных областях в соответствии с категорией полей.

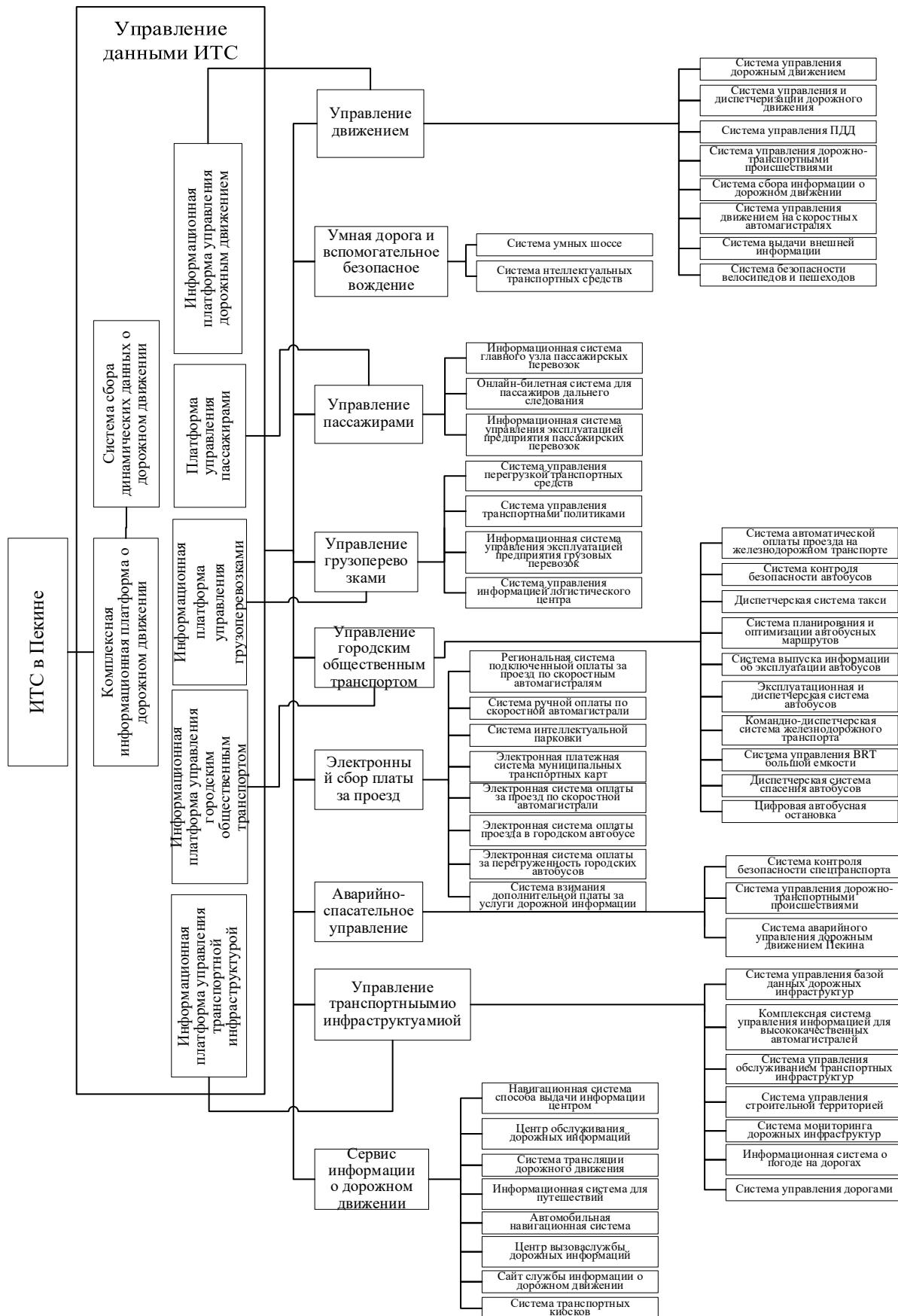


Рис. 3.2 - Схема иерархической структуры системы приложений ИТС в Пекине

Выводы по главе

1. Разработка архитектуры региональной интеллектуальной транспортной системы должна максимально соответствовать национальной архитектуре и корректироваться в соответствии с реальной ситуацией. Основное внимание при разработке региональной архитектуры уделяется физической архитектуре, основанной на физической архитектуре для получения системы приложений, отвечающих местным потребностям. Из-за больших региональных различий в различных регионах Китая и быстрого роста новых требований по-прежнему необходимо разработать соответствующую логическую архитектуру для пользовательских услуг с региональными особенностями.

2. Основой развития архитектуры городской интеллектуальной транспортной системы является совершенная национальная архитектура, и улучшение национальной архитектуры может уменьшить сложность разработки архитектуры региональной интеллектуальной транспортной системы.

ГЛАВА 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ АРХИТЕКТУРЫ КООПЕРАТИВНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

4.1 Особенности кооперативных интеллектуальных транспортных систем и их архитектуры

Особенности кооперативных интеллектуальных транспортных систем

В последние годы проблемы транспортной безопасности, эффективности, экологичности стали крупнейшими вызовами для развития транспортных систем. Одним из современных решений является кооперативные интеллектуальные транспортные системы (К-ИТС), интегрирующие взаимодействия участников дорожного движения, транспортных средств и дорожных инфраструктур. Развитие технологий кооперации транспортных средств и инфраструктуры приведет к значительным изменениям в методах получения и использования информации в кооперативных интеллектуальных транспортных системах, что, в свою очередь, вызовет глубокие изменения в обеспечении безопасности дорожного движения, управлении дорожным движением, мобильности, сделав транспорт более безопасным и передвижение более комфорtnым [31].

Кооперативные интеллектуальные транспортные системы базируются на современных информационно-коммуникационных технологиях, реализуя динамический обмен информацией между транспортными средствами и инфраструктурой в реальном режиме времени. На основе сбора и интеграции динамической информации о дорожном движении в полном временном и пространственном масштабе, К-ИТС формируют безопасную, эффективную и экологичную систему дорожного движения. К-ИТС обладают следующими характеристиками:

- 1) Реализация в реальном времени процессов управления дорожным движением.

В К-ИТС транспортные средства, инфраструктура и окружающая среда не воспринимаются как простые объекты. Участники дорожного движения, транспортное средство, дорога и окружающая среда, представляющие элементы

транспорта, через процесс сбора и интеграции сенсорных данных становятся цифровыми объектами с возможностью информационного взаимодействия. На основе данных в реальном времени, с помощью технологий интеллектуальной обработки данных, осуществляется оценки состояния сложной транспортной системы, что позволяет контролировать актуальное состояние участников дорожного движения (пешеходов, водителей, пассажиров), транспортных средств (автомобилей, поездов, самолетов), транспортных объектов (пассажиров, грузов), инфраструктуры (дорог, железных дорог, портов) и окружающей среды [26].

2) Использование больших данных

В К-ИТС обмен информацией между участниками дорожного движения, между транспортными средствами, между транспортными средствами и инфраструктурой, а также между транспортными средствами и центрами транспортных сервисов может осуществляться через различные средства связи, обеспечивая двустороннюю передачу информации [26]. Система способна использовать большие данные во времени и пространстве, генерируя информацию, отражающую различные характеристики транспортной системы, что служит основой для реализации функций К-ИТС, или так называемых больших данных о транспорте. С поддержкой распределенных облачных вычислений, благодаря обработке, фильтрации и оптимизации информации инфраструктурой или центрами транспортных сервисов, массовая информация становится более конкретной и точной, обладая интеллектуальными и адаптивными свойствами, что гарантирует пользователям системы доступ к более точной и упрощенной информации [76, 77].

3) Активное и скоординированное участие пользователей

К-ИТС не строится только на основе функционального сбора информации, а скорее рассматривает весь транспортный системный контур как структуру, состоящую из участников дорожного движения, транспортных средств, инфраструктуры и окружающей среды, работающих в коопeraçãoии. Пользователи могут не только получать более комплексные сервисы на основе одиночных функциональных сервисов, достигая различных уровней координированного обслуживания, но и более активно участвовать в процессах восприятия, оптимизации

и регулирования транспортных объектов, таких как активное управление безопасностью в процессе движения транспортных средств, а также настраивать индивидуальные сервисы в соответствии с личными потребностями или предпочтениями, такими как настройки моделей передвижения и предпочтения в управлении движением.

4) Экосистема сервисов

К-ИТС изменяют традиционные подходы к интеллектуальным транспортным системам, которые ограничивались стандартным применением информации к функциональным сервисам, и эффективно строят архитектуру, основанную на сборе, взаимодействии и применении информации в масштабах системы, обеспечивая координированные функции для участников дорожного движения, транспортных средств, инфраструктуры и окружающей среды и создавая разнообразные сервисные платформы для участников дорожного движения. Они предоставляют системные и пользовательские решения для различных транспортных потребностей; в то же время, за счет внедрения интеллектуальных информационных технологий, меняют традиционные модели управления и эксплуатации транспорта, достигая интеллектуализации управленческих сервисов и оптимизации работы всей транспортной системы, делая ее более безопасной, эффективной и экологичной.

Особенности архитектуры кооперативных интеллектуальных транспортных систем

Кооперативные интеллектуальные транспортные системы (К-ИТС) представляют собой новый этап в развитии интеллектуального транспорта. Взаимодействие функций между различными транспортными элементами формирует функциональные домены всей транспортной системы. Благодаря этому, объем получаемой информации, масштабы взаимодействия и количество приложений значительно расширяются. Такой поэтапный процесс развития позволяет К-ИТС в значительной степени сохранить сущность традиционных интеллектуальных транспортных систем и дополнительно обогатить и расширить их на основе существующих систем. Таким образом, сотрудничество между транспортными

средствами и дорожной инфраструктурой становится базовым элементом современных интеллектуальных транспортных систем, в которых все существующие и новые функции и сервисы могут быть реализованы. Для лучшего демонстрирования этой непрерывной эволюции был проведен глубокий анализ и исследование архитектуры К-ИТС на основе существующей архитектуры интеллектуального транспорта.

Исследования показывают, что, как и недавно опубликованные архитектуры интеллектуальных транспортных систем, архитектура К-ИТС также должна состоять из основных компонентов: пользовательских сервисов, логической архитектуры, физической архитектуры, стандартных протоколов, коммуникационной архитектуры и т. д. [26].

Пользовательские сервисы: В рамках К-ИТС определяются потребности пользователей транспортной системы, которые могут быть удовлетворены, и на основе этих потребностей классифицируются и предлагаются соответствующие пользовательские сервисы. Конструкция пользовательских сервисов имеет иерархическую структуру: сначала определяются основные категории, затем каждая категория детализируется на подкатегории от высших к нижним уровням, в конечном итоге формируя полный контент пользовательских сервисов.

Логическая архитектура: для каждого уровня и каждого вида пользовательских сервисов в среде интеллектуального транспорта определяются необходимые функциональные модули и потоки информации, которые передаются между этими модулями. Логические функциональные модули и потоки информации в основном соответствуют различным пользовательским сервисам.

Физическая архитектура: с точки зрения реализации функций и интеграции системы, логическая архитектура, определяющая различные уровни и виды функциональных модулей и потоков информации, интегрируется и определяет функциональные сущности, необходимые для реализации приложений интеллектуального транспорта, а также поток и информации и интерфейсы между этими сущностями.

Стандартные протоколы: для обеспечения совместной работы подсистем

интеллектуального транспорта в среде сотрудничества определяются стандартные интерфейсы для обмена информацией и функционального взаимодействия, а также поддерживающие их коммуникационные протоколы различных уровней. Стандартизация интерфейсов, информации и коммуникационных протоколов способствует продвижению исследований, разработки, строительства и развития современных продуктов и сервисов интеллектуальных транспортных систем [78, 79, 80].

4.2 Разработки архитектуры кооперативных интеллектуальных транспортных систем

Логическая архитектура интеллектуальных транспортных систем (ИТС) представляет собой ключевой элемент архитектуры ИТС в Китае, основная задача которой — описать взаимодействие функций транспортной системы. Логическая архитектура позволяет максимально полно описать потенциальные функции системы, которые соответствуют предоставляемым пользователям сервисам. Эти функции могут быть объединены для выполнения конкретных сервисов. Функции транспортной системы не могут выполняться изолированно, требуется информационный обмен с другими функциями системы, а также предоставления информации другим функциям. Таким образом, логическая архитектура ИТС представляет собой сложную иерархию взаимодействующих функций, предоставляющую необходимые сервисы [31].

Логическая архитектура китайской ИТС представлена в виде многоуровневой структуры, включающей функциональные домены, системные функции, функции и подфункции. В нее входят восемь функциональных доменов: управление и планирование транспорта, электронное взимание платы, информация для участников дорожного движения, безопасность транспортных средств и вспомогательное вождение, чрезвычайные ситуации и безопасность, управление эксплуатацией, комплексной транспорт и автоматизированные дороги. Связи между этими восьмью функциональными доменами, формирующими верхний уровень логической архитектуры китайской ИТС, показаны на рис. 4.1 [31]:

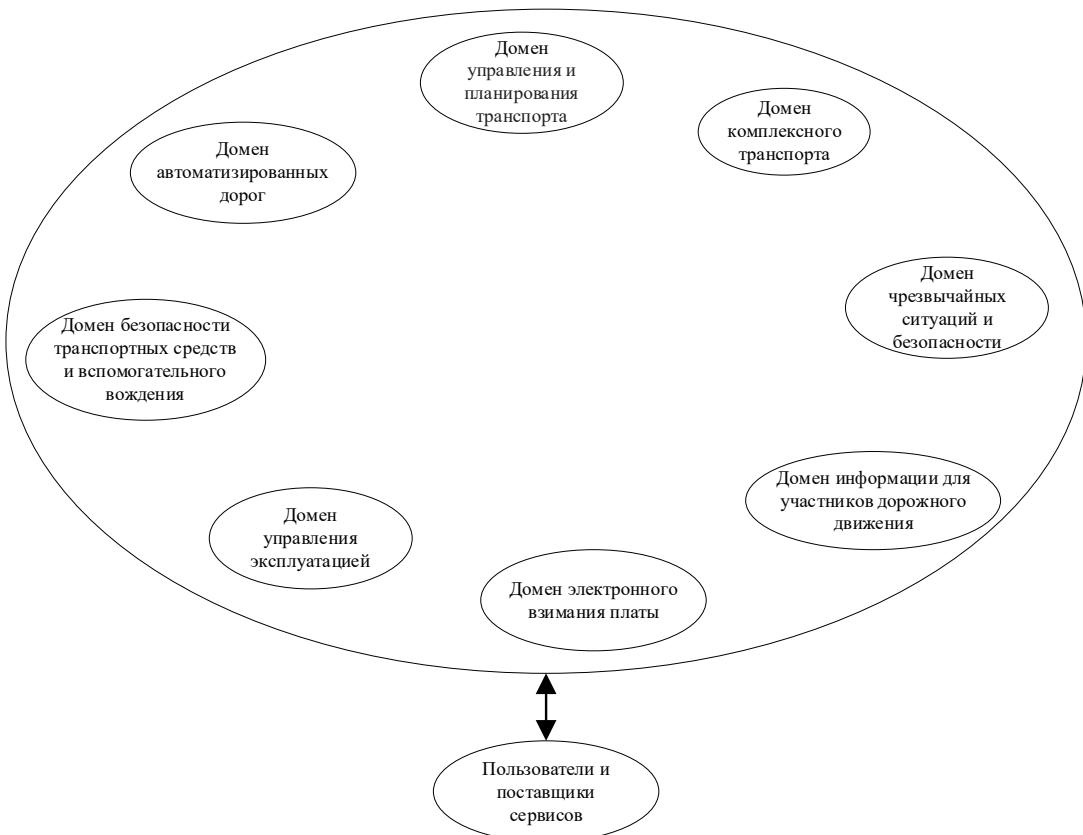


Рис. 4.1 - Логическая архитектура верхнего уровня интеллектуальных транспортных систем в КНР

Как и в китайской архитектуре ИТС, функциональные домены логической архитектуры должны соответствовать доменам предоставляемых сервисов. Таким образом, логическая архитектура кооперативных интеллектуальных транспортных систем также должна соответствовать шести сервисным доменам: безопасности и управлению транспортными средствами, безопасности пешеходов и велосипедистов, информационным сервисам, управлению транспортом, управлению эксплуатацией и чрезвычайному реагированию и спасению [31].

Учитывая, что кооперативные интеллектуальные транспортные системы являются основой для реализации всех функций транспортных сервисов, она может обеспечить платформу для сбора данных о транспортных объектах, платформу для обмена информацией на основе многостанционной беспроводной связи, платформу для совместной обработки базовых данных, платформу поддержки информационной безопасности и системного обслуживания, а также комплексную

платформу, обеспечивающую реализацию всех видов транспортных сервисов. Поэтому, помимо шести функциональных доменов, необходимо добавить специализированную платформу кооперативных интеллектуальных транспортных систем [31].

Определение логических функций системы:

Исходя из вышеизложенного дизайна, логическая архитектура кооперативной интеллектуальной транспортной системы должна включать семь функциональных доменов, а именно:

- 1) Платформа кооперативных интеллектуальных транспортных систем (Cooperative Intelligent Transportation System, CITS).
- 2) Безопасность и управление транспортными средствами (Vehicle Safety and Control, VSC).
- 3) Безопасность пешеходов и немоторизованных транспортных средств (Pedestrians and Non-Motorized Safety, PNMS).
- 4) Информационные сервисы (Information Service, IS).
- 5) Управление дорожным движением (Traffic Management, TM).
- 6) Управление эксплуатацией (Operations Management, OM).
- 7) Чрезвычайное реагирование и спасение (Emergency Response and Rescue, ERR).

Взаимосвязи потоков данных между этими функциональными доменами показаны на рис. 4.2:

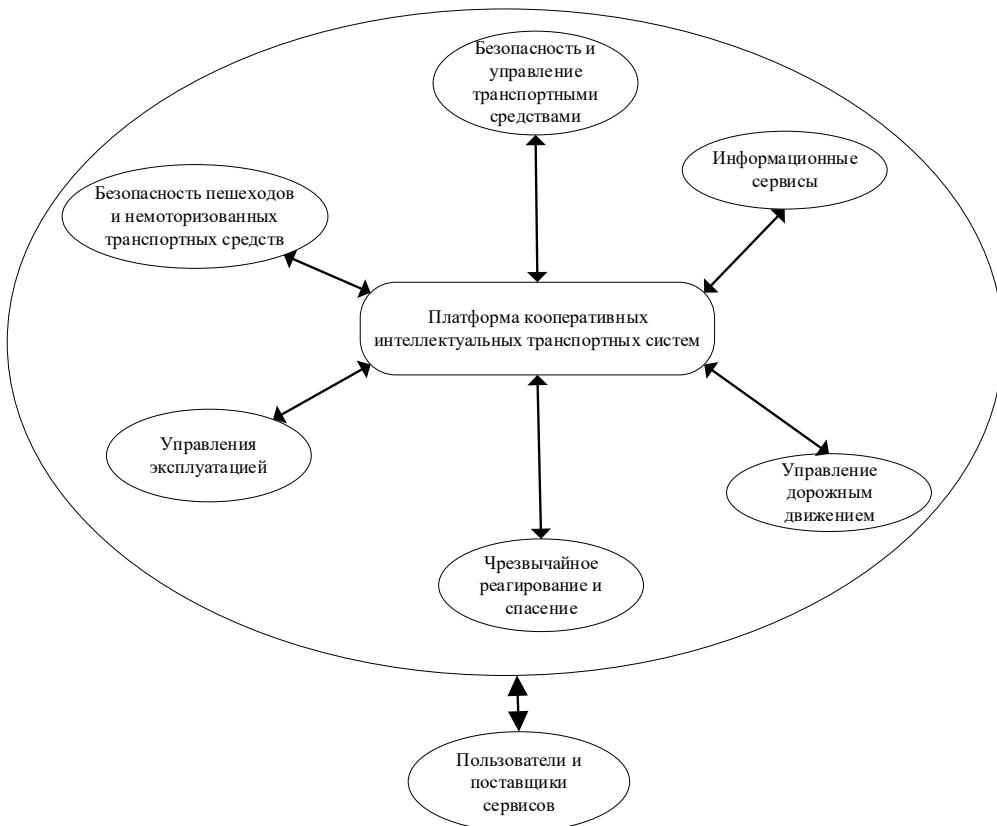


Рис. 4.2 - Логическая архитектура верхнего уровня кооперативных интеллектуальных транспортных систем в КНР

Определение потоков данных функциональных доменов следующее [31]:

- 1) Потоки данных внутри одного функционального домена: код функционального домена_название потока данных.
- 2) Потоки данных, начальная и конечная точки которых находятся в разных функциональных доменах: код функционального домена начальной точки. код функционального домена конечной точки_название потока данных.
- 3) Потоки данных, входящие и выходящие из конечной точки (терминатор).
 - Исходящие из конечной точки: f_название конечной точки_код функционального домена_название потока данных.
 - Входящие в конечную точку: t_название конечной точки_код функционального домена_название потока данных.
- 4) Потоки данных одного и то же типа, входящих и выходящих из одной и той же конечной точки, могут быть объединены в группу потоков данных.

- Исходящие из конечной точки: fr_название конечной точки.
- Входящие в конечную точку: to_название конечной точки.
- Двусторонние: to/fr_название конечной точки.

В контексте разработки архитектуры кооперативных интеллектуальных транспортных систем особое внимание уделяется точной иерархизации функциональных возможностей системы. Такая структуризация позволяет не только оптимально распределить ресурсы системы, но и четко определить взаимодействия между различными компонентами. Для демонстрации комплексной многоуровневой архитектуры, которая формируется на основе текущих и перспективных технологий, мы представляем таблицу иерархии логических функций. Эта таблица включает в себя множество функциональных уровней, каждый из которых отражает определенные задачи и ответственности в рамках системы. Разработанная нами модель способствует глубокому пониманию того, как информационные и операционные потоки должны быть организованы для обеспечения целостности и эффективности работы системы. Логическая функциональная иерархия показана на таблице 4.1:

Таблица 4.1 – Логическая функциональная иерархия платформы кооперативных интеллектуальных транспортных систем

№ п/п	Функциональные домены	Логические функции		
		Системные функции	Функции	Подфункции
1	Платформа кооперативных интеллектуальных транспортных систем	1. Информационная платформа	1.1 Определение потребности в информации	нет
2			1.2 Сбор информации	нет
3			1.3 Интеграция информации	нет
4			1.4 Генерация информации	нет
5		2. Интерактивная платформа	2.1 Интеракция транспортных средств	нет
6			2.2 Интеракция транспортных средств и дорог	нет
7			2.3 Интеракция дороги и центра	нет
8		3. Кооперативная	3.1 Кооперація транспортных средств	нет

9		платформа	3.2 Кооперация транспортных средств и дорог	нет
10			3.3 Кооперация дороги и центра	нет
11	4. Платформа обеспечения информационной безопасности	4.1 Обеспечение информационной безопасности	нет	
12		4.2 Эксплуатация и техническое обслуживание платформы	нет	
13	5. Сервисная платформа	5.1 Запрос на сервис	нет	
14		5.2 Подключение сервисов	нет	
15		5.3 Создание сервисов	нет	

Рассмотрение логической функциональной иерархии предоставляет фундамент для понимания того, как отдельные функции и подфункции соотносятся друг с другом и как они взаимодействуют для достижения целей кооперативных интеллектуальных транспортных систем. От этой теоретической базы мы переходим к более детальному рассмотрению каждой функции в контексте платформы, что позволяет лучше понять, как теоретические принципы применяются на практике [81, 82, 83].

Логическая функциональная иерархия представляет собой систематизированный подход к определению ключевых компонентов и их взаимосвязей в рамках кооперативных интеллектуальных транспортных систем. Эта структура служит отправной точкой для дальнейшего анализа и оптимизации системы, обеспечивая целостное и глубокое понимание функциональных потребностей и предлагая методы их реализации. Поэтому, переходя от общих принципов к специфическим функциям, мы подходим к рассмотрению таблицы функционального описания платформы, которая детализирует каждую функцию, предоставляя конкретные примеры их взаимодействия и влияния на повышение эффективности и безопасности транспортных систем. Это обеспечивает не только глубокое понимание механизмов работы системы, но и позволяет оценить потенциальные улучшения и инновации в области интеллектуальных транспортных технологий.

Подробное описание этих функций приведено в Таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Логическое функциональное описание платформы кооперативных интеллектуальных транспортных систем

Платформа кооперативных интеллектуальных транспортных систем	
1. Информационная платформа	
Название функции	Описание функции
1.1 Определение потребности в информации	Данная функция использует дорожное, транспортное и побочное оборудование для сбора транспортной информации, формируя данные транспортного мониторинга, которые служат основой для сбора и интеграции транспортной информации.
1.2 Сбор информации	<p>Данная функция отвечает за сбор и обработку информации. Принципы сбора информации включают следующие пять аспектов, которые являются основой для гарантии качества сбора информации:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Принцип надежности: Собираемая информация должна происходить от реальных объектов или среды, и должна отражать истинное состояние вещей. - Принцип полноты: Собираемая информация должна быть полной и собираться в соответствии с определенными стандартами, чтобы отражать полную картину событий. - Принцип своевременности: Информация должна быть получена вовремя. - Принцип точности: Собранная информация должна быть тесно связана с целями применения и требованиями работы, и быть точной; она должна быть пригодной для использования организацией или предприятием. - Принцип удобства использования: Собранная информация должна быть представлена в установленной форме, чтобы её могли использовать различные системы.

1.3 Интеграция информации	<p>Данная функция осуществляет самоосознание, самообучение и активное развитие массовых данных из многочисленных и разнородных источников с помощью методов описания, познания, моделирования, ассоциации и эволюции. Данные являются стратегическим ресурсом, связывающим транспортную безопасность и социальное развитие. Сама система кооперативных интеллектуальных транспортных систем является типичной средой с высокой плотностью данных, функционирование которой охватывает мониторинг окружающей среды, городской транспорт, экономическое развитие, общественные сервисы, общественную безопасность и многие другие аспекты. Быстрое увеличение объемов данных, бессмысленное избыточное накопление данных, разрыв связей данных с их первоначальными ассоциациями серьезно ограничивают полное использование информации. Однако данные, возможно, связаны с определенным временем, пространством, транспортным средством, человеком, событием или объектом, они взаимосвязаны, и существующая организация и обработка данных не полностью отражают эти связи, которые часто имеют важное значение для решения проблем управления системой и обслуживания. Технологии активации данных могут эффективно решать проблемы управления и анализа больших данных.</p>
1.4 Генерация информации	<p>Эта функция, на основе результатов интеграции информации, генерирует надежные и практические данные на основе собранной транспортной информации и выполняет публикацию соответствующей информации в ответ на различные запросы информации.</p>
2. Интерактивная платформа	
Название функции	Описание функции
2.1 Интеракция транспортных средств	<p>Эта функция обеспечивает базовую поддержку коммуникаций между транспортными средствами, выполняет подключение, поддержание и управление соответствующими коммуникациями, гарантируя связность коммуникаций и безопасность данных, что служит основой для сотрудничества на верхнем уровне между транспортными средствами.</p>
2.2 Интеракция транспортных средств и дорог	<p>Эта функция обеспечивает базовую поддержку коммуникаций между транспортными средствами и дорожной инфраструктурой, выполняет подключение, поддержание и управление соответствующими коммуникациями, гарантируя связность коммуникаций и безопасность данных, что служит основой для сотрудничества на верхнем уровне между транспортными средствами и дорогами.</p>

2.3 Интеракция дороги и центра	<p>Эта функция обеспечивает базовую поддержку коммуникаций между дорогами и центром, выполняет подключение, поддержание и управление соответствующими коммуникациями, гарантируя связность коммуникаций и безопасность данных, что служит основой для сотрудничества на верхнем уровне между дорогами и центром.</p>
3. Кооперативная платформа	
Название функции	Описание функции
3.1 Кооперация транспортных средств	<p>Эта функция выполняет координацию работы транспортных средств, управление транспортными средствами, состояние общественных служб и другие источники информации и процессы управления, предоставляя многоуровневую поддержку принятия решений для пользователей.</p>
3.2 Кооперация транспортных средств и дорог	<p>Эта функция выполняет взаимодействие и обмен информацией о состоянии транспортных средств, состоянии дорожной инфраструктуры, состоянии водителей и общественных служб, поддерживая интеллектуальный анализ и помочь транспортным средствам.</p>
3.3 Кооперация дороги и центра	<p>Для высокоуровневых решателей в городских и более крупных системах кооперативных интеллектуальных транспортных систем, данная функция обеспечивает поддержку разнообразных прикладных запросов и бизнес-моделей, охватывающих управление эксплуатацией, планирование строительства, чрезвычайное управление и другие области, требующие не только взаимодействия внутри системы между людьми, транспортными средствами и дорогами, но и поддержки данных и сервисов обработки данных из энергетики, транспорта, планирования, логистики и других отраслей. На основе взаимодействия сенсорных наблюдений, информационных сетей и моделей принятия решений, эта функция также использует технологии анализа пространственно-временных данных и моделирования, а также технологии реального времени для мониторинга необычных событий.</p>
4. Платформа обеспечения информационной безопасности	
Название функции	Описание функции
4.1 Обеспечение информационной безопасности	<p>Эта функция направлена на обеспечение безопасности информации в процессе коммуникации в системе кооперативных интеллектуальных транспортных систем, проводя оценку безопасности информации на основе обнаруженных условий коммуникации и предоставляя предупреждения о безопасности информации.</p>

4.2 Эксплуатация и техническое обслуживание платформы	Эта функция предоставляет сервисы по эксплуатации и техническому обслуживанию для платформы кооперативных интеллектуальных транспортных систем, оценивая состояние работы подсистем и платформы в целом, а также предоставляя сгенерированные оценки и предупреждения соответствующим управленческим и техническим службам.
5. Сервисная платформа	
Название функции	Описание функции
5.1 Запрос на сервис	Эта функция получает запросы на сервисы и на основе списка обслуживаемых сервисов формирует список запросов и обработки сервисов.
5.2 Подключение сервисов	Эта функция, исходя из запросов на сервисы и условий их предоставления, осуществляет подключение сервисов, устанавливая механизм связи между заявителями и провайдерами сервисов.
5.3 Создание сервисов	Эта функция, используя установленный механизм связи с провайдерами сервисов, предоставляет заявителям сервисы, сгенерированные поставщиками сервисов.

Разработка логической архитектуры кооперативных интеллектуальных транспортных систем требует глубокого анализа и интеграции различных информационных потоков и технологических решений. Это необходимо для создания динамичной системы, способной адаптироваться к меняющимся условиям дорожного движения и пользователям системы. Рис. 4.2 иллюстрирует связи между функциональными доменами, формирующими основу для обмена информацией и выполнения распределённых сервисов в реальном времени.

Важной составляющей К-ИТС является использование данных для оптимизации транспортных процессов [84, 85]. Описание функциональных возможностей каждого уровня логической архитектуры (Таблица 4.1 и 4.2) дает понимание о том, как данные собираются, обрабатываются и используются для повышения эффективности системы. Это основа для взаимодействия между различными компонентами системы и обеспечения их координации.

Детализация каждой функции в рамках платформы позволяет создать многослойную структуру взаимодействий, которая является критически важной для успешного функционирования системы. Анализ, представленный в Таблице 4.2, подчеркивает взаимозависимость модулей и их влияние на общую

производительность и надежность системы.

После анализа функциональной структуры и описания роли данных в К-ИТС, рис. 4.3 представляет собой логическое продолжение предыдущих разделов, демонстрируя сложные связи между различными функциональными доменами и потоками данных. Эта диаграмма иллюстрирует, как интеграция и обмен данными происходят на практике, обеспечивая выполнение задач К-ИТС и адаптацию к динамично меняющимся условиям. Диаграмма уровней взаимосвязи потоков данных логической архитектуры платформы К-ИТС показана на рис. 4.3 (системные функции - 1, 2, 3 ...; функции – 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 3.1, 3.2 ...):

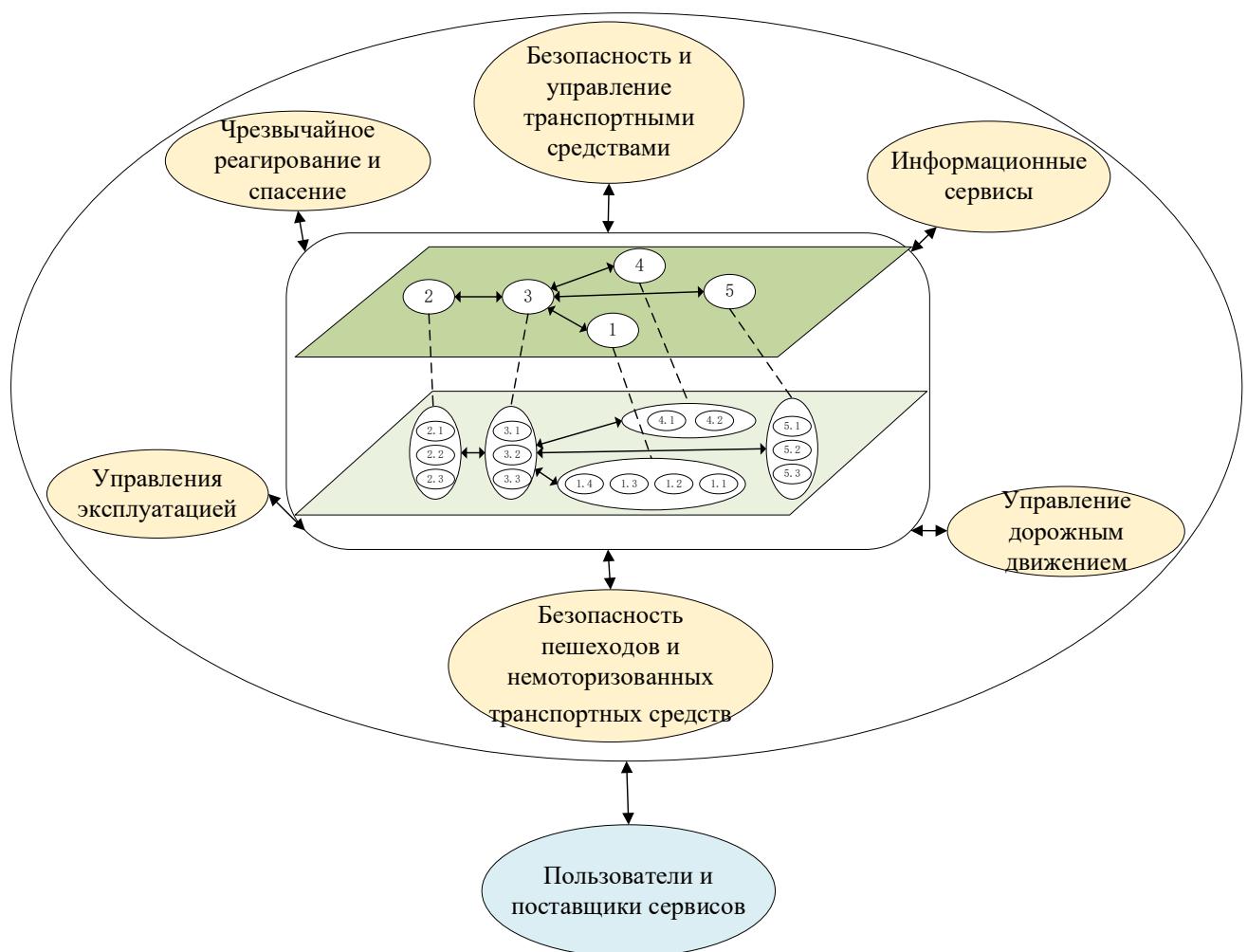


Рис. 4.3 - Диаграмма уровней взаимосвязи потоков данных логической архитектуры платформы К-ИТС (Ссылка на табл. 4.2)

Далее, для того чтобы лучше понять динамику и сложность процессов внутри

кооперативной интеллектуальной транспортной системы, мы разработали диаграмму потоков данных функциональных доменов. Эта диаграмма служит визуализацией механизмов обмена информацией между различными компонентами системы, подчеркивая важность каждого взаимодействия для поддержания стабильности и адаптивности системы в реальном времени. Интеграция данных и координация действий на этом уровне позволяют системе быстро реагировать на изменяющиеся условия эксплуатации и обеспечивать высокий уровень безопасности и управляемости транспортных потоков. Визуальное представление этих процессов не только упрощает их анализ, но и способствует разработке новых стратегий для оптимизации и масштабирования системных возможностей. Разработанная диаграмма потоков данных функционального домена платформы К-ИТС показана на рис. 4.4:

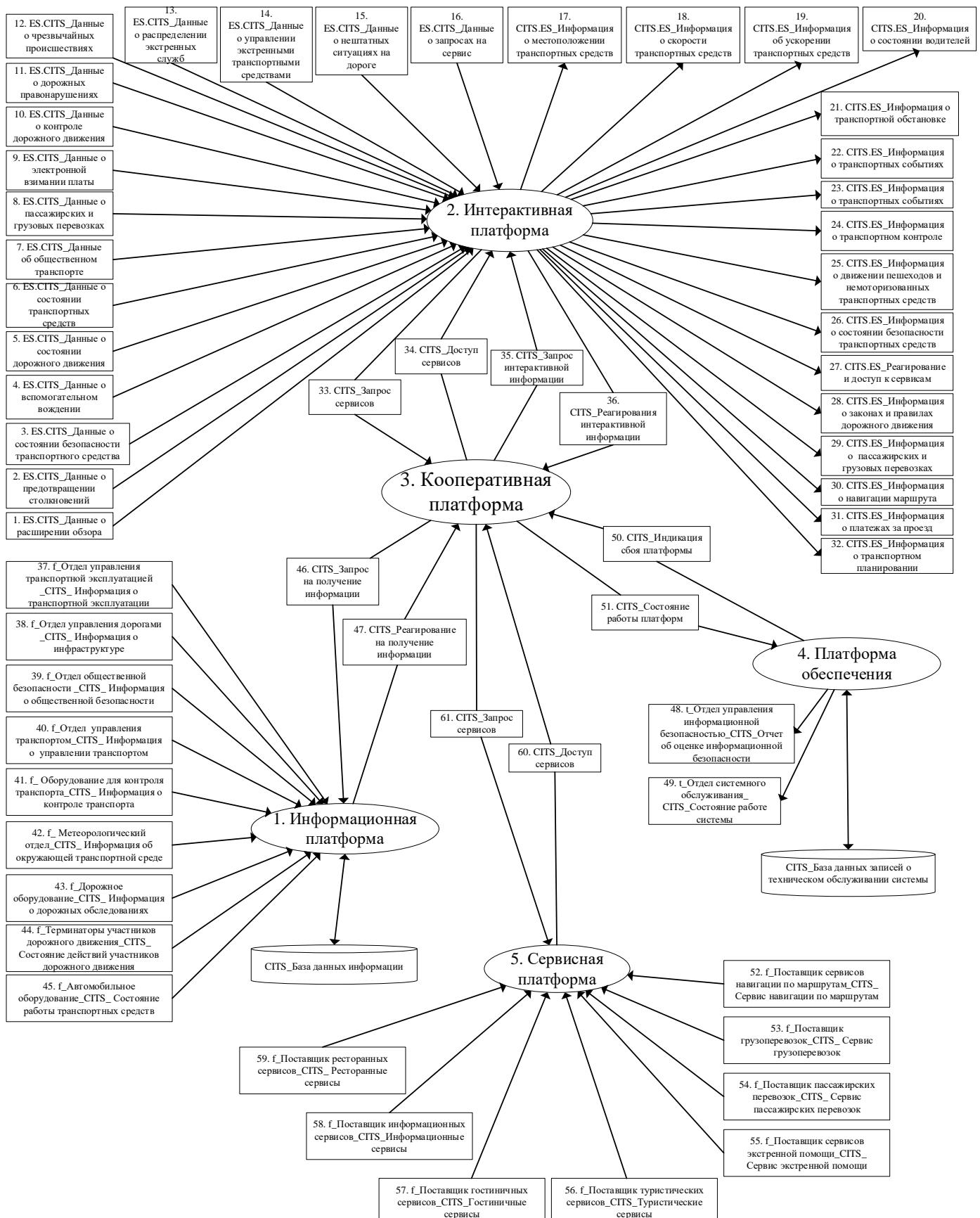


Рис. 4.4 - Диаграмма потоков данных функционального домена платформы К-ИТС

Для эффективного перехода от рассмотрения диаграммы потоков данных

функциональных доменов К-ИТС (Рис. 4.4) к формированию таблицы словари данных, описывающей эти потоки данных (Таблица 4.3), важно подчеркнуть ряд ключевых аспектов, которые являются критическими для понимания структуры и функционирования кооперативных интеллектуальных транспортных систем.

1) Осмысление комплексности данных и их потоков

В кооперативных интеллектуальных транспортных системах каждый поток данных несет в себе уникальную функцию и предназначен для конкретной операционной задачи [86, 87]. Эти потоки формируют сложную сеть взаимодействий, которая обеспечивает бесперебойную работу транспортной системы, реагирование на изменения в реальном времени и адаптацию к текущим условиям дорожного движения. Понимание этих взаимосвязей и точная характеристика каждого потока данных существенно улучшают качество и эффективность управления транспортными процессами [88, 89].

2) Взаимосвязь данных и функциональных доменов

Каждый поток данных связан с определенным функциональным доменом, что отражено в логической структуре К-ИТС [89, 90, 91]. Это обеспечивает не только техническую, но и логическую интеграцию системы, способствуя созданию многоуровневой архитектуры, где каждый уровень ответственен за выполнение своих задач. Эффективное распределение и управление данными между этими доменами позволяет системе быстро адаптироваться к меняющимся условиям и предотвращать или минимизировать потенциальные дисфункции.

3) Подробное описание и классификация потоков данных

Таблица 4.3 представляет собой фундаментальный инструмент для идентификации и классификации потоков данных. Она содержит всестороннюю информацию о каждом потоке, включая исходные и конечные точки, типы данных и их назначение в рамках К-ИТС. Это дает возможность не только точно определить роль каждого потока в общей схеме, но и углубить понимание механизмов взаимодействия внутри системы, что крайне важно для разработки стратегий улучшения производительности и безопасности транспортных процессов.

4) Стратегическое использование данных для повышения эффективности

системы

Понимание того, как данные текут через различные функциональные домены и как они обрабатываются и используются, позволяет стратегически управлять этими потоками для оптимизации работы К-ИТС. Это включает в себя не только техническую обработку данных, но и их аналитическое применение для улучшения качества сервисов, предоставляемых пользователям системы [92, 93, 94].

Эти ключевые аспекты являются неотъемлемой частью понимания связи между диаграммой потоков данных (Рис. 4.4) и таблицей словаря данных (Таблица 4.3), формируя мост между техническим описанием архитектуры системы и практическим применением этих данных в реальных условиях эксплуатации кооперативных интеллектуальных транспортных систем. Это понимание критически важно для разработки, внедрения и масштабирования К-ИТС в условиях постоянно меняющегося транспортного ландшафта [95, 96].

Таблица 4.3 – Словарь данных функционального домена платформы К-ИТС

№	1	2	3	4	5
	Потоки данных	Типа	Отправная точка	Конечная точка	Описание
1	1. ES.CITS_Данные о расширении обзора	Внешние	ES (Epitaxial system, Эпитаксиальная система)	CITS	В соответствии с требованиями взаимодействия и другими системными запросами, платформа К-ИТС получает данные о расширении поля зрения и другие данные из внешней системы
2	2. ES.CITS_Данные о предотвращении столкновений	Внешние	ES	CITS	В соответствии с требованиями взаимодействия и другими системными запросами, платформа К-ИТС получает данные о предотвращении столкновений и другие данные из внешней системы
3	3. ES.CITS_Данные о состоянии безопасности транспортного средства	Внешние	ES	CITS	В соответствии с требованиями взаимодействия и другими системными запросами, платформа К-ИТС получает данные о состоянии безопасности транспортных средств и другие данные из внешней системы

4	4. ES.CITS_Данные о вспомогательномождении	Внешние	ES	CITS	В соответствии с требованиями взаимодействия и другими системными запросами, платформа К-ИТС получает данные для контроля вспомогательного управления транспортными средствами и другие данные из внешней системы
5	5. ES.CITS_Данные о состоянии дорожного движения	Внешние	ES	CITS	В соответствии с требованиями взаимодействия и другими системными запросами, платформа К-ИТС получает данные о состоянии транспорта и другие данные из внешней системы
6	6. ES.CITS_Данные о состоянии транспортных средств	Внешние	ES	CITS	В соответствии с требованиями взаимодействия и другими системными запросами, платформа К-ИТС получает данные о состоянии транспортных устройств и другие данные из внешней системы
7	7. ES.CITS_Данные об общественном транспорте	Внешние	ES	CITS	В соответствии с требованиями взаимодействия и другими системными запросами, платформа К-ИТС получает данные об общественном транспорте и другие данные из внешней системы
8	8. ES.CITS_Данные о пассажирских и грузовых перевозках	Внешние	ES	CITS	В соответствии с требованиями взаимодействия и другими системными запросами, платформа К-ИТС получает данные о пассажирских и грузовых перевозках и другие данные из внешней системы
9	9. ES.CITS_Данные о электронной взимании платы	Внешние	ES	CITS	В соответствии с требованиями взаимодействия и другими системными запросами, платформа К-ИТС получает данные о электронной оплате и другие данные из внешней системы
10	10. ES.CITS_Данные о контроле дорожного движения	Внешние	ES	CITS	В соответствии с требованиями взаимодействия и другими системными запросами, платформа К-ИТС получает данные о контроле движения и другие данные из внешней системы

1 1	11. ES.CITS_Данные о дорожных правонарушениях	Внешние	ES	CITS	В соответствии с требованиями взаимодействия и другими системными запросами, платформа К-ИТС получает данные о нарушениях правил дорожного движения и другие данные из внешней системы
1 2	12. ES.CITS_Данные о чрезвычайных происшествиях	Внешние	ES	CITS	В соответствии с требованиями взаимодействия и другими системными запросами, платформа К-ИТС получает данные об экстремальных случаях и другие данные из внешней системы
1 3	13. ES.CITS_Данные о распределении экстренных служб	Внешние	ES	CITS	В соответствии с требованиями взаимодействия и другими системными запросами, платформа К-ИТС получает данные о распределении экстренных услуг и другие данные из внешней системы
1 4	14. ES.CITS_Данные о управлении экстренными транспортными средствами	Внешние	ES	CITS	В соответствии с требованиями взаимодействия и другими системными запросами, платформа К-ИТС получает данные об управлении экстренными транспортными средствами и другие данные из внешней системы
1 5	15. ES.CITS_Данные о нештатных ситуациях на дороге	Внешние	ES	CITS	В соответствии с требованиями взаимодействия и другими системными запросами, платформа К-ИТС получает данные о предупреждениях об аномалиях дорожного движения и другие данные из внешней системы
1 6	16. ES.CITS_Данные о запросах на сервис	Внешние	ES	CITS	В соответствии с требованиями взаимодействия и другими системными запросами, платформа К-ИТС получает данные о запросах на услуги и другие данные из внешней системы
1 7	17. CITS.ES_Информация о местоположении транспортных средств	Внешние	CITS	ES	В соответствии с требованиями слияния данных и взаимодействия, платформа К-ИТС предоставляет другим системам информацию о местоположении транспортных средств и другие данные

1 8	18. CITS.ES_Информация о скорости транспортных средств	Внешние	CITS	ES	В соответствии с требованиями слияния данных и взаимодействия, платформа К-ИТС предоставляет другим системам информацию о скорости транспортных средств и другие данные
1 9	19. CITS.ES_Информация об ускорении транспортных средств	Внешние	CITS	ES	В соответствии с требованиями слияния данных и взаимодействия, платформа К-ИТС предоставляет другим системам информацию об ускорении транспортных средств и другие данные
2 0	20. CITS.ES_Информация о состоянии водителей	Внешние	CITS	ES	В соответствии с требованиями слияния данных и взаимодействия, платформа К-ИТС предоставляет другим системам информацию о состоянии водителя и другие данные
2 1	21. CITS.ES_Информация о транспортной обстановке	Внешние	CITS	ES	В соответствии с требованиями слияния данных и взаимодействия, платформа К-ИТС предоставляет другим системам информацию о транспортной среде и другие данные
2 2	22. CITS.ES_Информация о транспортных событиях	Внешние	CITS	ES	В соответствии с требованиями слияния данных и взаимодействия, платформа К-ИТС предоставляет другим системам информацию о транспортных инцидентах и другие данные
2 3	23. CITS.ES_Информация о транспортных событиях	Внешние	CITS	ES	В соответствии с требованиями слияния данных и взаимодействия, платформа К-ИТС предоставляет другим системам информацию о контроле движения и другие данные
2 4	24. CITS.ES_Информация о транспортном контроле	Внешние	CITS	ES	В соответствии с требованиями слияния данных и взаимодействия, платформа К-ИТС предоставляет другим системам информацию о движении пешеходов и не моторизованных транспортных средств и другие данные

2 5	25. CITS.ES_Информация о движении пешеходов и немоторизованных транспортных средств	Внешние	CITS	ES	В соответствии с требованиями слияния данных и взаимодействия, платформа К-ИТС предоставляет другим системам информацию о состоянии безопасности транспортных средств и другие данные
2 6	26. CITS.ES_Информация о состоянии безопасности транспортных средств	Внешние	CITS	ES	В соответствии с требованиями слияния данных и взаимодействия, платформа К-ИТС предоставляет другим системам информацию о дорожной среде и другие данные
2 7	27. CITS.ES_Реагирование и доступ к сервисам	Внешние	CITS	ES	В соответствии с требованиями слияния данных и взаимодействия, платформа К-ИТС предоставляет другим системам информацию об ответах и доступе к услугам и другие данные
2 8	28. CITS.ES_Информация о законах и правилах дорожного движения	Внешние	CITS	ES	В соответствии с требованиями слияния данных и взаимодействия, платформа К-ИТС предоставляет другим системам информацию о транспортном законодательстве и другие данные
2 9	29. CITS.ES_Информация о пассажирских и грузовых перевозках	Внешние	CITS	ES	В соответствии с требованиями слияния данных и взаимодействия, платформа К-ИТС предоставляет другим системам информацию о пассажирских и грузовых перевозках и другие данные
3 0	30. CITS.ES_Информация о навигации маршрута	Внешние	CITS	ES	В соответствии с требованиями слияния данных и взаимодействия, платформа К-ИТС предоставляет другим системам информацию о навигации по маршрутам и другие данные
3 1	31. CITS.ES_Информация о платежах за проезд	Внешние	CITS	ES	В соответствии с требованиями слияния данных и взаимодействия, платформа К-ИТС предоставляет другим системам информацию о платежах и другие данные

3 2	32. CITS.ES_Информация о транспортном планировании	Внешние	CITS	ES	В соответствии с требованиями слияния данных и взаимодействия, платформа К-ИТС предоставляет другим системам информацию о планировании транспорта и другие данные
3 3	33. CITS_Запрос сервисов	Внутренние	CITS	CITS	Внутри платформы К-ИТС предоставляются запросы на услуги другим подсистемам платформы
3 4	34. CITS_Доступ сервисов	Внутренние	CITS	CITS	Внутри платформы К-ИТС предоставляется доступ к услугам другим подсистемам платформы
3 5	35. CITS_Запрос интерактивной информации	Внутренние	CITS	CITS	Внутри платформы К-ИТС предоставляются запросы на обмен информацией другим подсистемам платформы
3 6	36. CITS_Реагирование интерактивной информации	Внутренние	CITS	CITS	Внутри платформы К-ИТС предоставляются ответы на запросы обмена информацией другим подсистемам платформы
3 7	37. f_Отдел управления транспортной эксплуатацией _CITS_ Информация о транспортной эксплуатации	Отдел управления транспортной эксплуатацией	CITS	CITS	Взаимодействие с терминалами внутри системы для получения информации о транспортной эксплуатации от терминалов департамента управления транспортом в соответствии с требованиями подсистем
3 8	38. f_Отдел управления дорогами _CITS_ Информация о инфраструктуре	Отдел управления дорогами	CITS	CITS	Взаимодействие с терминалами внутри системы для получения информации о инфраструктуре от терминалов департамента управления дорогами в соответствии с требованиями подсистем
3 9	39. f_Отдел общественной безопасности _CITS_ Информация о общественной безопасности	Отдел общественной безопасности	CITS	CITS	Взаимодействие с терминалами внутри системы для получения информации о общественной безопасности от терминалов департамента общественной безопасности в соответствии с требованиями подсистем
4 0	40. f_Отдел управления транспортом _CITS_ Информация о управлении транспортом	Отдел управления транспортом	CITS	CITS	Взаимодействие с терминалами внутри системы для получения информации о транспортном управлении от терминалов департамента транспортного управления в соответствии с требованиями подсистем

4 1	41. f_Оборудование для контроля транспорта_CITS_ Информация о контроле транспорта	Оборудование для контроля транспорта	CITS	CITS	Взаимодействие с терминалами внутри системы для получения информации о транспортном контроле от терминалов транспортного контрольного оборудования в соответствии с требованиями подсистем
4 2	42. f_Метеорологический отдел_CITS_ Информация об окружающей транспортной среде	Метеорологический отдел	CITS	CITS	Взаимодействие с терминалами внутри системы для получения информации о транспортной среде от терминалов метеорологического департамента в соответствии с требованиями подсистем
4 3	43. f_Дорожное оборудование_CITS_ Информация о дорожных обследованиях	Дорожное оборудование	CITS	CITS	Взаимодействие с терминалами внутри системы для получения информации о дорожной обстановке от терминалов дорожного оборудования в соответствии с требованиями подсистем
4 4	44. f_Терминалы участников дорожного движения_CITS_ Состояние действий участников дорожного движения	Терминалы участников дорожного движения	CITS	CITS	Взаимодействие с терминалами внутри системы для получения информации о состоянии перемещения путешественников от терминалов путешественников в соответствии с требованиями подсистем
4 5	45. f_Автомобильное оборудование_CITS_ Состояние работы транспортных средств	Автомобильное оборудование	CITS	CITS	Взаимодействие с терминалами внутри системы для получения информации о состоянии работы транспортных средств от терминалов транспортных средств в соответствии с требованиями подсистем
4 6	46. CITS_Запрос на получение информации	Внутренние	CITS	CITS	Внутри платформы К-ИТС представляются запросы на получение информации другим подсистемам платформы
4 7	47. CITS_Реагирование на получение информации	Внутренние	CITS	CITS	Внутри платформы К-ИТС представляются ответы на запросы информации другим подсистемам платформы
4 8	48. t_Отдел управления информационной безопасностью_CITS_Отчет об оценке	Выходные	CITS	Отдел управления информационной безопасностью	Взаимодействие с терминалами внутри системы для предоставления отчетов о оценке информационной безопасности терминалам департамента информационной

	информационной безопасности			стью	безопасности в соответствии с результатами работы и обработки подсистем
4 9	49. t_Отдел системного обслуживания_CITS_Состояние работе системы	Выходные	CITS	Отдел системного обслуживания	Взаимодействие с терминалами внутри системы для предоставления информации о состоянии работы системы терминалам департамента системного обслуживания в соответствии с результатами работы и обработки подсистем
5 0	50. CITS_Индикация сбоя платформы	Внутренние	CITS	CITS	Внутри платформы К-ИТС предоставляются указания о сбоях платформы другим подсистемам платформы
5 1	51. CITS_Состояние работы платформ	Внутренние	CITS	CITS	Внутри платформы К-ИТС предоставляется информация о состоянии работы различных платформ другим подсистемам платформы
5 2	52. f_Поставщик сервисов навигации по маршрутам_CITS_ Сервис навигации по маршрутам	Входные	Поставщик сервисов навигации по маршрутам	CITS	Взаимодействие с терминалами внутри системы для получения услуг навигации по маршрутам от терминалов провайдеров услуг навигации в соответствии с результатами работы и обработки подсистем
5 3	53. f_Поставщик грузоперевозок_CITS_ Сервис грузоперевозок	Входные	Поставщик грузоперевозок	CITS	Взаимодействие с терминалами внутри системы для получения грузовых услуг от терминалов провайдеров грузовых услуг в соответствии с результатами работы и обработки подсистем
5 4	54. f_Поставщик пассажирских перевозок_CITS_ Сервис пассажирских перевозок	Входные	Поставщик пассажирских перевозок	CITS	Взаимодействие с терминалами внутри системы для получения пассажирских услуг от терминалов провайдеров пассажирских услуг в соответствии с результатами работы и обработки подсистем
5 5	55. f_Поставщик сервисов экстренной помощи_CITS_ Сервис экстренной помощи	Входные	Поставщик сервисов экстренной помощи	CITS	Взаимодействие с терминалами внутри системы для получения услуг экстренного реагирования от терминалов провайдеров экстренных услуг в соответствии с результатами работы и обработки подсистем

5 6	56. f_Поставщик туристических сервисов_CITS_Туристические сервисы	Входные	Поставщик туристических сервисов	CITS	Взаимодействие с терминалами внутри системы для получения туристических услуг от терминалов провайдеров туристических услуг в соответствии с результатами работы и обработки подсистем
5 7	57. f_Поставщик гостиничных сервисов_CITS_Гостиничные сервисы	Входные	Поставщик гостиничных сервисов	CITS	Взаимодействие с терминалами внутри системы для получения гостиничных услуг от терминалов провайдеров гостиничных услуг в соответствии с результатами работы и обработки подсистем
5 8	58. f_Поставщик информационных сервисов_CITS_Информационные сервисы	Входные	Поставщик информационных сервисов	CITS	Взаимодействие с терминалами внутри системы для получения информационных услуг от терминалов провайдеров информационных услуг в соответствии с результатами работы и обработки подсистем
5 9	59. f_Поставщик ресторанных сервисов_CITS_Ресторанные сервисы	Входные	Поставщик ресторанных сервисов	CITS	Взаимодействие с терминалами внутри системы для получения услуг общественного питания от терминалов провайдеров услуг общественного питания в соответствии с результатами работы и обработки подсистем
6 0	60. CITS_Доступ сервисов	Внутренние	CITS	CITS	Внутри платформы К-ИТС предоставляются запросы на услуги другим подсистемам платформы
6 1	61. CITS_Запрос сервисов	Внутренние	CITS	CITS	Внутри платформы К-ИТС предоставляется доступ к услугам другим подсистемам платформы

4.3 Платформа кооперативных интеллектуальных автомагистралей

4.3.1 Прикладной контекст платформы К-ИТС

1) Анализ контекста

Столицей провинции Шаньси является город Тайюань. Территория Шаньси характеризуется сложным рельефом, включая горы, холмы, плато и впадины, причем горные и холмистые районы составляют более двух третей общей площади, большинство из которых находится на высоте от 1000 до 2000 метров. Специфическая географическая среда Шаньси обусловила большое количество тоннелей на её автомагистралях.



Рис. 4.5 - Карта провинции Шаньси

На данный момент в эксплуатации в Шаньси находится 684 автотоннеля (в 361 месте) с общей длиной 945,222 километра, что составляет 9,125% от общей протяжённости автомагистралей провинции. Из них крайне длинных тоннелей 89 (в 46 местах), длинных тоннелей 145 (в 79 местах), средней длины тоннелей 178 (в 100 местах) и коротких тоннелей 272 (в 136 местах). В провинции имеется 8 двухполосных тоннелей длиной более 10 километров каждый, включая крайне длинный тоннель Сишань на автомагистрали Тайгу, тоннель Хонгтигуань на автомагистрали Чанпин, тоннель Юньшань на автомагистрали Хэюй и тоннель Баоташань на автомагистрали Пинььюй.

Провинции Шаньси обладает богатыми природными ресурсами и является крупнейшим в Китае производителем угля и центром энергетической и тяжелой химической промышленности. Уголь из Шаньси транспортируется по всей стране с помощью дорожной и железнодорожной сетей. В связи с этим, большое количество транспортных средств на автострадах Шаньси представляют собой грузовики, перевозящие уголь, что представляет значительную угрозу безопасности дорожного движения из-за специфики перевозимого груза.

2) Управление дорожным движением на автомагистралях

Ответственность за управление дорожным движением на автострадах Шаньси возложена на общий отдел дорожной полиции министерства общественной безопасности провинции. Командование включает в себя подразделения в Тайюане, Датуне, Чанчжи и Юньчэне, которые называются первым, вторым, третьим и четвертым отрядами соответственно. Также существует отряд, непосредственно подчиненный главному командованию. Разделение зон управления движением на автомагистралях в провинции Шаньси как показано на рис. 4.6:



Рис. 4.6 - Разделение зон управления движением на автомагистралях в провинции Шаньси

Первый отряд управляет 14 подразделениями и контролирует основную сеть дорог общей протяженностью 1100 км. На его территории находится 76 платных станций и 17 зон обслуживания. Отряд отвечает за управление движением на множестве участков автомагистралей вокруг Тайюаня, включая Цинъинь, Цинькунь и другие. Этот регион является транспортным узлом всей сети автомагистралей провинции и охватывает такие города, как Тайюань, Циньчжун, Люлиан, Яньчуань и Синьчжоу, играя ключевую роль в транспортном сообщении между столицей провинции и соседними городами.

Второй отряд несет ответственность за управление безопасностью движения на северных автомагистралях провинции, включая районы Сюйчжоу, Шуочжоу и Датун. В его подчинении 13 подразделений, контролирующих такие автострады, как

Суньюй, Суньюйский филиал, Эргуань, Убао, Тяньда, Тунъюань, а также Шаньсийский участок Рунву, Датунское кольцо, Эргуаньский филиал Шуочжоу. Общая протяженность участков, находящихся под контролем второго отряда, составляет 1085,32 км. В зоне ответственности находятся 63 платные станции (включая 4 выезда из провинции) и 22 зоны обслуживания.

Третий отряд состоит из 10 подразделений, управляющих 766 км автострад, включая дороги вокруг Цзиньчэн и Чанчжи. Отряд отвечает за контроль дорожного порядка, обработку дорожно-транспортных происшествий и предварительное расследование уголовных дел.

Четвертый отряд включает 10 подразделений, контролирующих 1011,152 км автострад в регионах Джиньчжун, Линьфэн, Юньчэн и Цзиньчэн. К его ответственности относятся такие дороги, как Пекин-Куньмин, Хоупин, Юньфэн, кольцевая автомагистраль города Юньчэн, Линху, Аньян, Юаньсунь, Линьцзи, кольцевая автомагистраль города Линьфэн и другие, на которых расположено 66 платных станций и 38 зон обслуживания.

3) Анализ текущих проблем

Тоннели на автострадах играют важную роль в улучшении линейности маршрутов и сокращении расстояния поездки. Однако, из-за своей узкой и длинной структуры, с ограниченными точками вентиляции (только входы и выходы), тоннели создают условия, близкие к закрытым пространствам. Это может привести к авариям из-за внезапных изменений визуальных условий, что часто вызывает дорожные происшествия, включая столкновения. В случае пожара, ограниченное пространство способствует быстрому распространению огня и дыма, что усложняет спасательные операции из-за плохой вентиляции и высокой токсичности дыма. Особенности географического расположения и структуры тоннелей создают значительные трудности для проведения спасательных операций.

1 марта 2014 года в тоннеле Яньху на автостраде Цзиньцзи в округе города Цзиньчэн, произошло массовое ДТП, вызванное столкновением транспортных средств, что привело к смерти 40 человек, ранению 12 человек и уничтожению 42 транспортных средств. Прямые экономические потери составили 81,97 миллиона

юаней. Основной причиной аварии стало то, что водитель грузовика, перевозившего метanol, въехал в тоннель, где из-за внезапного изменения освещения не смог вовремя заметить остановившиеся впереди транспортные средства. Это привело к столкновению с другим грузовиком, также перевозившим метanol, что вызвало его воспламенение. В результате произошло возгорание и взрыв, затрагивающий два других транспортных средства, перевозивших опасные химические вещества, и 31 грузовик, перевозивший уголь.

3 июня 2016 года на участке автострады Эргуань G55 в направлении к Тайюаню произошло ДТП у входа в тоннель №1, в результате которого автобус столкнулся с входом в тоннель, что привело к гибели 6 человек и ранению 14 человек, а также вызвало серьезное дорожное затор.

4.3.2 Анализ необходимости реализации проекта К-ИТС

(1) Усиление контроля, снижение числа дорожно-транспортных происшествий

Из-за особой структуры тоннелей эвакуация людей и транспортных средств в случае аварии осложнена, а сложность спасательных операций в тоннелях значительно выше, чем на обычных участках автострад. В этих условиях происходит более значительное дорожное затор.

(2) Улучшение порядка на дорогах, повышение пропускной способности

С увеличением числа автомобилей и не всегда достаточным уровнем водительских навыков возрастает дорожное затор, что становится серьезной преградой для социально-экономического развития. Дорожная полиция Шаньси уже неоднократно проводила мероприятия по наведению порядка на автострадах, осуществляя строгий контроль за нарушениями со стороны грузовиков и переполнением пассажирских автобусов, устранивая тем самым угрозы безопасности и нормализуя движение на автострадах.

На основе этих данных и в соответствии с требованиями дорожной полиции, К-ИТС может фиксировать нарушения водителей с помощью фотографирования и записи, стимулируя их к соблюдению правил дорожного движения и безопасному вождению, тем самым снижая количество ДТП. Кроме того, интеллектуальное

мониторинговое оборудование работает круглосуточно, снижая нагрузку на дорожных полицейских и повышая их работоспособность.

(3) Повышение уровня управления, предоставление качественных услуг

Исследования крупных дорожно-транспортных происшествий показывают, что неправильные действия управляющего персонала могут негативно сказаться на обработке аварий. После происшествия, если информационно-мониторинговый центр обнаруживает заторы, но не сообщает вовремя дорожной полиции в соответствии с требованиями чрезвычайного реагирования и не отслеживает ситуацию, это может усугубить последствия аварии. Ситуации в тоннелях могут оставаться неизвестными для водителей, следующих позади, что приводит к расширению масштабов аварии.

К-ИТС способен мониторить ситуацию в тоннелях и своевременно отправлять актуальную информацию, позволяя водителям быстро получать данные о состоянии дорожного движения впереди. В случае чрезвычайной ситуации система может самостоятельно направлять процесс эвакуации людей, активно способствуя предотвращению аварий в тоннелях.

4.3.3 Общий подход к проектированию платформы кооперативных интеллектуальных автомагистралей

1) Принципы строительства

Метод нисходящего уточнения, поэтапное внедрение.

Систематическое проектирование общей архитектуры "Платформы кооперативных интеллектуальных автомагистралей", разработка общего подхода и целей строительства, определение дорожной карты и временных рамок, реализация поэтапного внедрения.

Ориентация на потребности, фокус на результат.

Концентрация на решении актуальных сложных проблем управления тоннелями, повышение уровня кооперативного управления между правительством и различными отделами, улучшение эффективности работы автомагистралей.

Интеграция ресурсов, обмен информацией.

Интеграция существующих ресурсов дорог и тоннелей, преодоление информационных барьеров и рациональное распределение ресурсов для максимального повышения эффективности использования ресурсов, сокращение дублирующего строительства.

Единые стандарты, синхронизация бизнес-процессов.

Стандартизация технических стандартов и бизнес-процессов, обеспечение хорошей реплицируемости и масштабируемости "Платформы кооперативных интеллектуальных автомагистралей", создание каналов для обмена информацией с другими регулирующими органами.

2) Потребностей пользователей

Специфическая географическая среда Шаньси обусловила большое количество туннелей на её автомагистралях. Для разработки архитектуры К-ИТС для тоннелей необходимо учесть следующие группы потребностей пользователей:

- сбор и обработка данных включая данные подключенных и автономных автомобилей, интеграция и управление данными, устранение информационных барьеров между различными системами для реализации обмена данными;
- управление дорожным движением в реальном режиме времени как в централизованном, так и в децентрализованном режимах в соответствии с интенсивностью движения, внешним освещением и погодными условиями с использованием интеллектуальных алгоритмов для обеспечения безопасности движения, интеграция функций различных систем в единый пользовательский интерфейс для удобства централизованного контроля и управления;
- информационное обеспечение водителей о ситуации в тоннелях и на подходах к ним, маршрутное ориентирование в реальном режиме времени, управление оборудованием в чрезвычайных ситуациях с помощью системы экстренного реагирования и управления. Предоставление регуляторным органам и частным лицам актуальной и точной информации через приложения, WeChat, веб-сайты и другие платформы.

4.3.4 Физическая архитектура платформы К-ИТС управления интеллектуальными тоннелями

Разработанная физическая архитектура платформы К-ИТС управления интеллектуальными тоннелями включает:

- **информационная платформа:** с помощью видеонаблюдения и различных типов датчиков внутри тоннеля определяется информация о транспортных средствах (включая скорость, расстояние и тип транспортного средства), состоянии воздуха в тоннеле и пожаре.

- **интерактивная платформа:** обеспечивает взаимодействие в реальном времени и обмен данными о дорожном движении между всеми транспортными средствами, дорогами и центрами управления. Она использует многорежимные средства беспроводной связи для обеспечения связи между транспортным средством и автомобилем, между автомобилем и дорогой и между человеком и автомобилем в совместной среде транспортного средства и дороги.

- **кооперативная платформа:** отвечает за совместную обработку различных типов дорожной информации, чтобы обеспечить необходимые функции для работы системы. На основе собранных данных о движущихся транспортных средствах она контролирует и направляет транспортные средства в тоннеле в режиме реального времени, чтобы избежать дорожно-транспортных происшествий.

- **платформа обеспечения:** решает задачи управления в чрезвычайных ситуациях, создавая планы реагирования на чрезвычайные ситуации, отслеживая чрезвычайные ситуации в режиме реального времени и своевременно отправляя экстренные ресурсы.

- **сервисная платформа:** предоставляет информационные услуги государственным органам, предприятиям, персонально участникам дорожного движения с помощью различных средств, таких как приложения для мобильных телефонов, автомобильные терминалы, Интернет, дорожные информационные табло, дорожное радио, трансляции в тоннелях и электронные экраны.

Физическая архитектура платформы К-ИТС управления интеллектуальными тоннелями показана на рис. 4.7:

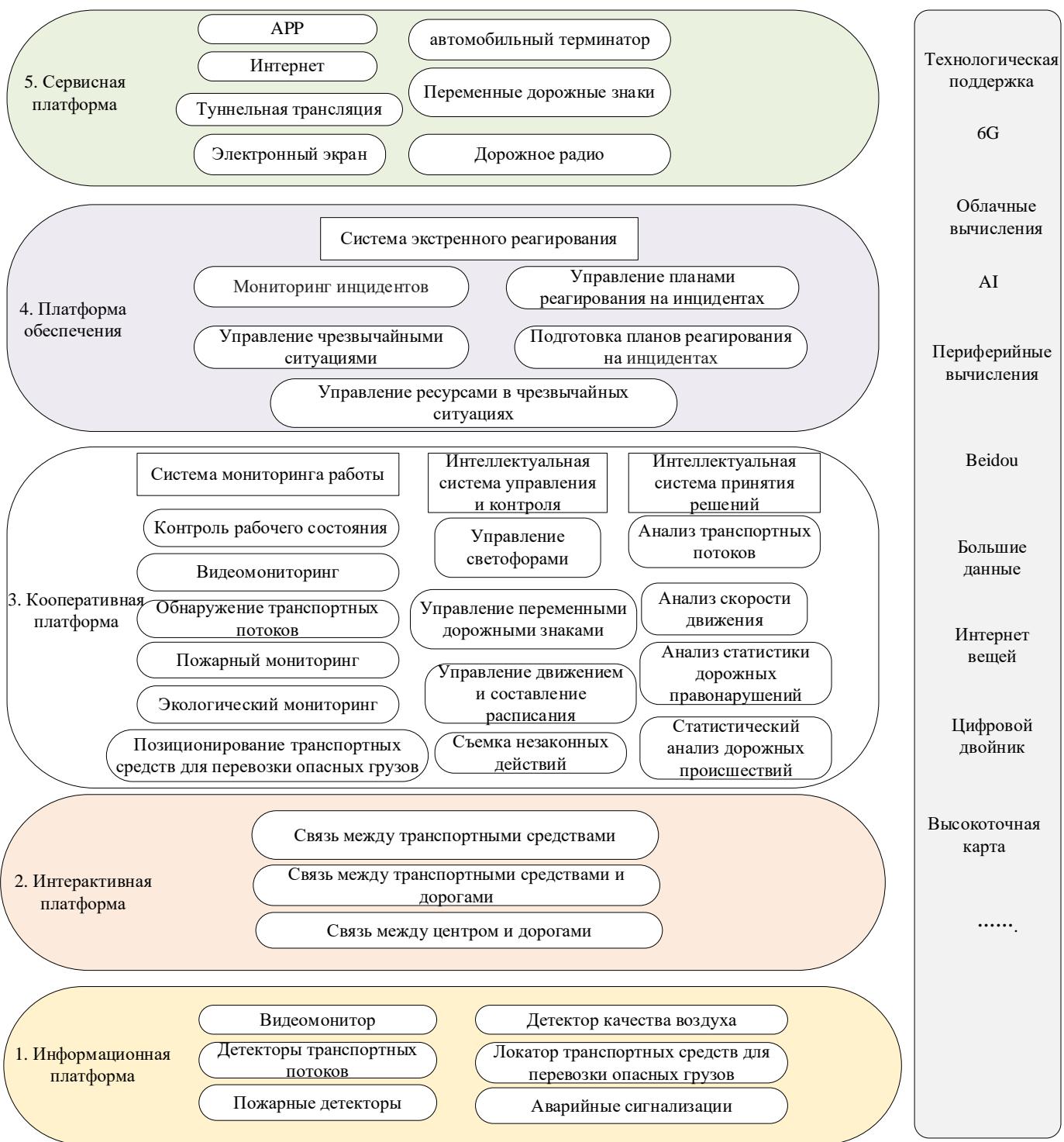


Рис. 4.7 - Физическая архитектура платформы К-ИТС управления интеллектуальными тоннелями

В кооперативной платформе (как центральная система) система мониторинга работы отвечает за сбор данных и мониторинг рабочего состояния, а также управляет аварийными ситуациями; интеллектуальная система управления и контроля принимает события, осуществляет управление контрольным оборудованием и

инициирует план по устраниению события; интеллектуальная система принятия решений обеспечивает поддержку принятия решений для каждой системы.

Информация о дорожно-транспортном происшествии, полученная информационной платформой, передается на платформу обеспечения через кооперативную платформу, а система экстренного реагирования на платформе обеспечения оперативно реагирует.

Комитет по стандартизации Китая 23 августа 2024 года утвердил и опубликовал рекомендуемый национальный стандарт GB/T 44417—2024 «Технические требования и методы испытаний для интеллектуальных кооперативных управляющих устройств дорожной инфраструктуры в К-ИТС». Основное содержание этого стандарта включает физические взаимосвязи и архитектуру интеллектуальных кооперативных управляющих устройств дорожной инфраструктуры (Roadside Intelligent Cooperative Control Device , RICCD), система приложений, базовая функциональная система, система управления, система безопасности, интерфейсы, требования к производительности, электрические и экологические адаптации, а также методы тестирования.

1. Физические взаимосвязи и архитектура устройств: определяет положение RICCD в К-ИТС, связи RICCD с системами верхнего уровня и дорожными сенсорными устройствами как показано на рис. 4.8:

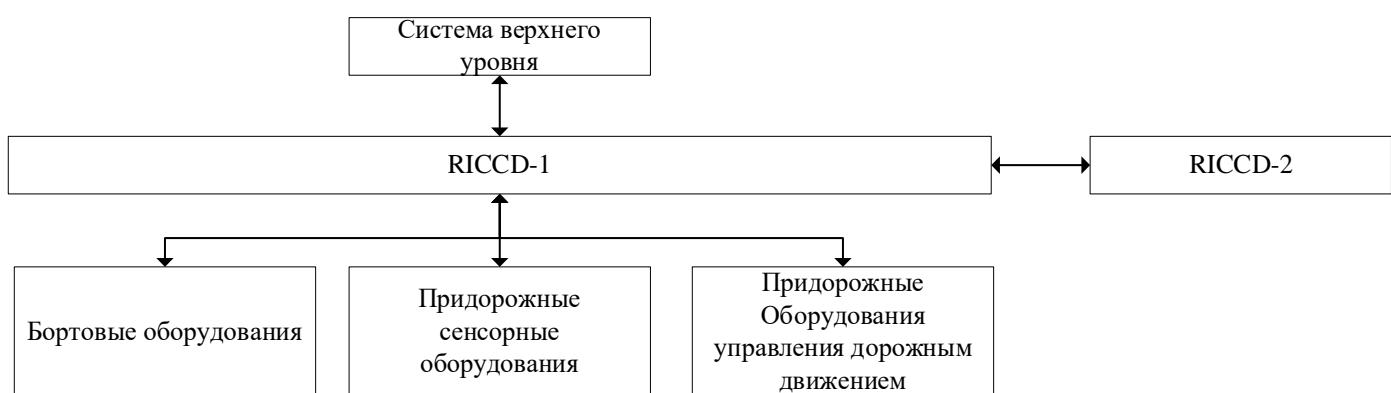


Рис. 4.8 - Физические взаимосвязи и архитектура устройств RICCD

Архитектура RICCD включает системы приложений, базовые функциональные системы, систему управления, систему безопасности и системные ресурсы, как

показано на рис. 4.9:

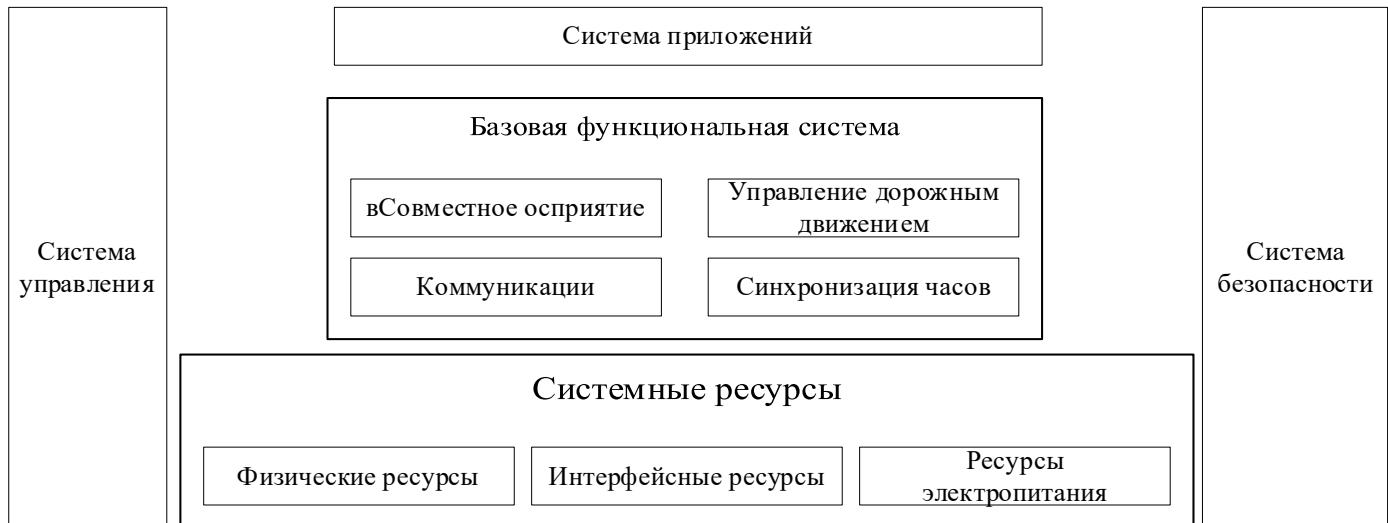


Рис. 4.9 - Архитектура RICCD

2. Системы приложений: описывает сценарии использования и возможности обслуживания RICCD, применимые для шоссе и городских дорог, поддерживающие широкий спектр функций приложений. Базовые системные функции: включают сотрудничающее восприятие, управление движением, функции связи и синхронизацию времени.

3. Базовые функциональные системы: включают совместное восприятие, управление движением, Коммуникации и синхронизацию часов.

4. Система управления: охватывают управление системой, управление конфигурациями, управление неисправностями, мониторинг производительности, управление журналами и пользователями.

5. Системы безопасности: включают контроль доступа, хранение данных и безопасность приложений.

6. Требования к интерфейсам: определяют протоколы данных между RICCD и другими сущностями, процессы взаимодействия и интерфейсы.

7. Требования к производительности: устанавливают требования к производительности беспроводной связи и бизнес-производительности.

8. Требования к электрической и экологической адаптации: уточняют экологические требования к RICCD.

9. Методы испытаний: Методы испытаний беспроводной связи основаны на действующих стандартах; методы тестирования управленческих и безопасных функций, а также интерфейсов осуществляются путем функциональной проверки; методы тестирования производительности осуществляются на месте.

Этот стандарт разработан для универсальных К-ИТС и предоставляет технические стандарты для разработанной автором платформы К-ИТС управления интеллектуальными тоннелями, однако не учитывает особенности специального рельефа или особые транспортные условия. Разработанная платформа К-ИТС управления интеллектуальными тоннелями особенно учитывает сценарии экстренного управления в горных тоннелях на автомагистралях в сочетании с платформой К-ИТС, что предоставляет ей определенные преимущества.

4.4 Валидация архитектуры кооперативных интеллектуальных транспортных систем (К-ИТС) осуществлена на основе моделирования в различных сценариях

В данной главе разработаны логическая и физическая архитектуры кооперативных интеллектуальных транспортных систем (К-ИТС). В упомянутых логической и физической архитектурах К-ИТС интегрированы функции реального времени для потоков данных, которые используются в системах экстренного реагирования при чрезвычайных ситуациях для реагирования на инцидентах. Система экстренного реагирования включает в себя несколько подсистем: мониторинг инцидентов, управление чрезвычайными ситуациями, управление планами реагирования на инцидентах, подготовка планов реагирования на инцидентах и управление ресурсами в чрезвычайных ситуациях, как показано на рис. 4.10:

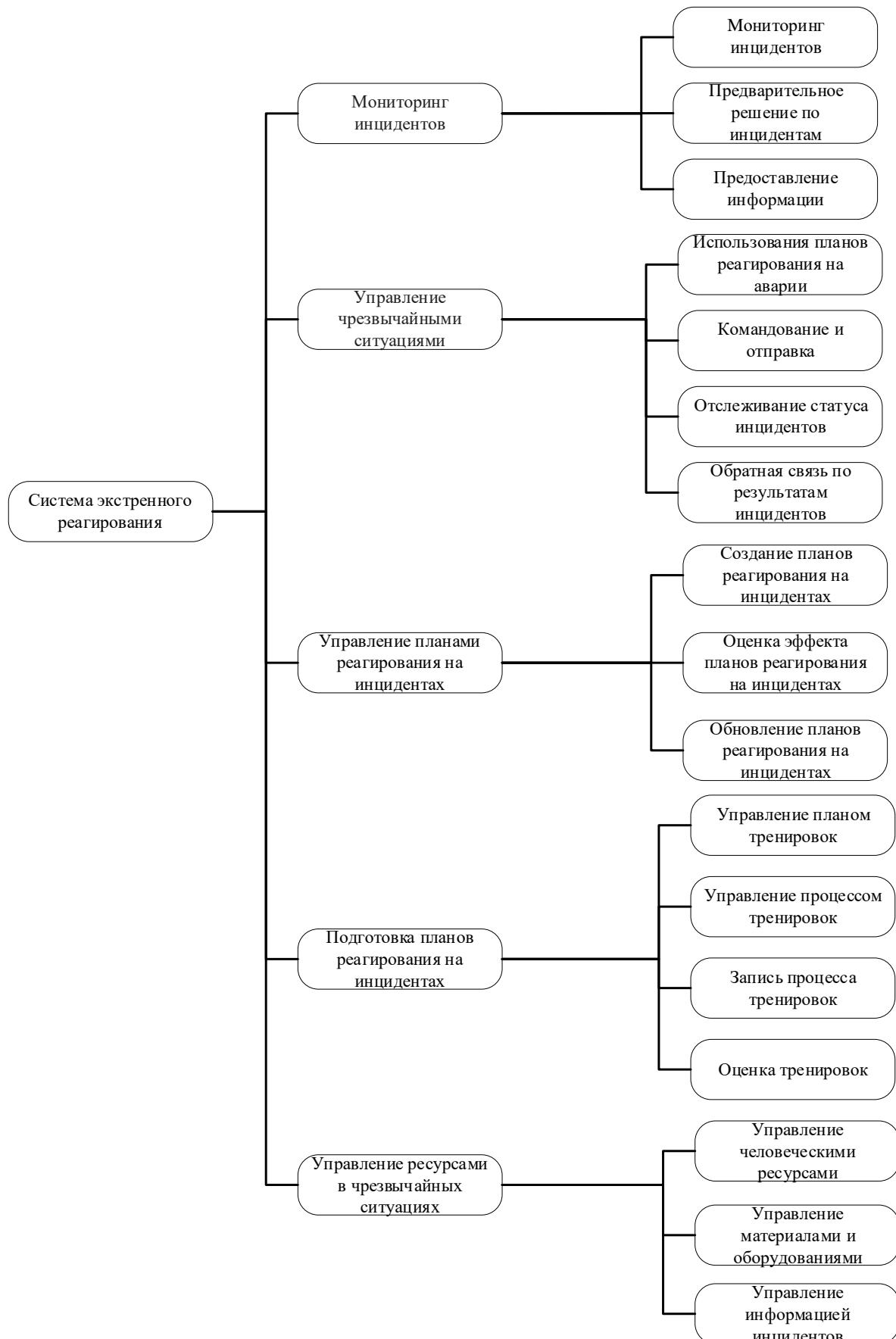


Рис. 4.10 - Физическая архитектура системы экстренного реагирования

В платформе обеспечения схема обработки данных системы экстренного реагирования показана на рис. 4.11:

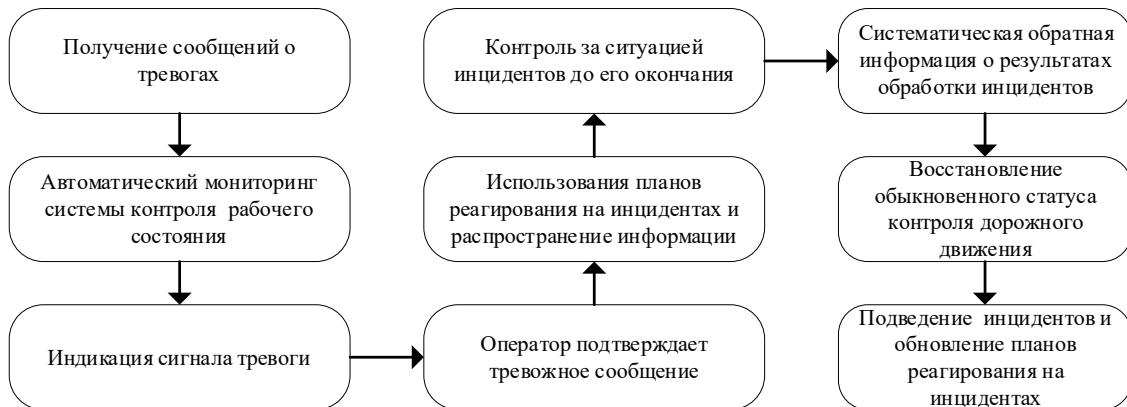


Рис. 4.11 - Схема обработки данных системы экстренного реагирования

Чтобы убедиться в эффективности разработанной архитектуры, необходимо провести её валидацию в реалистичных условиях. Для этой цели было выбрано моделирование с использованием программного обеспечения AIMSUN.

Микромодель Gipps интегрирована в программное решение AIMSUN и демонстрирует высокую стабильность для микромоделирования транспортных потоков на уровне сети [97, 98, 99]. Три ключевых предположения лежат в основе этой модели: скорость автомобиля не превышает его желаемой скорости; ускорение автомобиля может быть большим при малой скорости; ускорение автомобиля уменьшается, приближаясь к нулю, когда скорость стремится к желаемой. Gipps при разработке своей модели уделял особое внимание безопасности водителя ведомого автомобиля, который регулирует свою скорость таким образом, чтобы обеспечить возможность остановки в случае внезапного торможения ведущего автомобиля.

В случае начала торможения ведущим автомобилем в точке x , его конечная точка остановки x^* будет определена как:

$$x_n^* = x_n(t) - \frac{v_n^2}{2b_n} \quad (4.1)$$

где x - координата автомобиля на улично-дорожной сети;

b - замедление автомобиля;

n - порядковый номер автомобиля.

Ответная реакция следующего автомобиля ($n+1$) на торможение лидера происходит с задержкой τ , и координаты его остановки вычисляются по формуле:

$$x_{n+1}^* = x_{n+1}(t) + 0.5\tau[v_{n+1}(t) + v_{n+1}(t + \tau)] - \frac{v_{n+1}^2(t + \tau)}{2b_{n+1}} \quad (4.2)$$

Для предотвращения столкновений между автомобилями должно выполняться условие:

$$x_n^* - s_n \geq x_{n+1}^* \quad (4.3)$$

где s - длина автомобиля с учетом безопасного интервала.

Согласно уравнениям модели (4.1) и (4.2), условие (4.3) модифицируется следующим образом:

$$\begin{aligned} x_n(t) - \frac{v_n^2}{2b_n} - s_n &\geq \\ x_{n+1}(t) + 0.5\tau[v_{n+1}(t) + v_{n+1}(t + \tau)] + \theta v_{n+1}(t + \tau) - \frac{v_{n+1}^2(t + \tau)}{2b_{n+1}} \end{aligned} \quad (4.4)$$

где b_{n+1} - максимальное замедление ведомого автомобиля;

θ - параметр.

Поскольку в реальных условиях водитель не всегда может точно оценить замедление ведущего автомобиля b_{n+1} , Gipps предложил использовать предполагаемое замедление b' . Также было установлено оптимальное значение параметра θ : $\theta = \tau/2$. На основе этого предположения было разработано условие для определения скорости, обеспечивающей безопасное следование в транспортном потоке:

$$v_{n+1}(t + \tau) \leq b_{n+1}\tau + \sqrt{b_{n+1}^2\tau^2 - b_{n+1} \left\{ 2[x_n(t) - s_n - x_{n+1}(t)] - v_{n+1}(t)\tau - \frac{v_{n+1}^2(t + \tau)}{2b'_{n+1}} \right\}} \quad (4.5)$$

Модель Gipps также включает в себя условие для определения скорости движения ведомого автомобиля при разгоне и движении на дистанции больше желаемой:

$$v_{n+1}(t + \tau) \leq v_{n+1}(t) + 2,5a_{n+1}\tau \left(1 - \frac{v_{n+1}(t)}{v_f}\right) \sqrt{0.025 + \frac{v_{n+1}(t)}{v_f}} \quad (4.6)$$

где а - максимальное ускорение автомобиля;

v_f - желаемая скорость движения.

Эта часть модели (4.6) учитывает изменение ускорения в зависимости от скорости и обеспечивает плавность движения, поддерживая скорость в пределах заданных параметров.

Вместе уравнения (4.5) и (4.6) составляют микромодель Gipps, где определяющим фактором для выбора скорости является её минимальное значение [97, 100]:

$$v_{n+1}(t + \tau) = \min \left\{ v_{n+1}(t) + 2,5a_{n+1}\tau \left(1 - \frac{v_{n+1}(t)}{v_f}\right) \sqrt{0.025 + \frac{v_{n+1}(t)}{v_f}}, b_{n+1}\tau + [b_{n+1}^2\tau^2 - b_{n+1}\{2(x_n(t) - s_n - x_{n+1}(t)) - v_{n+1}(t)\tau - \frac{v_{n+1}^2(t + \tau)}{2b'_{n+1}}\}] \frac{1}{2} \right\}. \quad (4.7)$$

Модели, описанные выше, предоставляют более стабильные сценарии движения в условиях неопределённости по сравнению с наблюдаемыми данными. Такая стабильность обусловлена предположениями, лежащими в их основе. Тем не менее, в реальности наблюдается, что многие водители поддерживают расстояние между автомобилями, которое меньше безопасного. Это может привести к тому, что анализ взаимосвязей интенсивности, плотности и скорости, основанный на данных моделирования, окажется идеализированным и может содержать ошибочные интерпретации [101, 102].

В стабильном режиме движения модель следования за лидером, разработанная Gipps, представлена следующими формулами:

$$t = 2400 \left(\frac{1}{q_{max}} - \frac{1}{k_j v_f} - \frac{v_{q \ max}}{25,92b} \left(1 - \frac{b}{b'}\right) \right); \quad (4.8)$$

$$v = \min \left[v_f, \frac{5,4bt}{1 - \frac{b}{b'}} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{8000 \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{k_j} \right) \left(1 - \frac{b}{b'} \right)}{9bt^2}} \right) \right]; \quad (4.9)$$

$$q = \frac{1000v}{\frac{1}{k_j} + \frac{tv}{2,4} + \frac{v^2}{25,92b} \left(1 - \frac{b}{b'} \right)}. \quad (4.10)$$

AIMSUN позволило создать виртуальный сценарий, включающий комбинацию тоннеля и объездного канала, с целью проверки влияния разработанной архитектуры на эффективность управления движением в условиях различных дорожных ситуаций. Длина тоннеля автомагистрали в данном моделировании составляет 1,39 км (2 полоса, 4000 авт/ч), а ограничение скорости - 80 км/ч. Длина объездной дороги составляет 1,69 км (2 полосы, 2800 авт/ч), а ограничение скорости - 70 км/ч. Ограничение скорости на автомагистрали перед въездом в тоннель и после выезда из него составляет 100 км/ч (3 полосы, 6300 авт/ч), а общее количество отправляемых автомобилей - 3000. Некоторые параметры автомобилей, применяемые в модели Gipps, представлены в таблице 4.4:

Таблица 4.4 – Параметры автомобилей

Тип	b (м/сек 2)	b_{n+1} (м/сек 2)	τ (сек)	s (м)	a (м/сек 2)	v_f (км/ч)
Обычные автомобили	4,0	6,0	1	5,0	3,0	70/80
Подключенные автомобили	4,0	6,0	0,5	5,0	3,0	70/80

Вероятность выбора назначенного маршрута в зависимости от доли подключенных автомобилей оценивается по логит-модели, параметры которой определены в исследовании:

$$P_k = \frac{1}{1 + \exp \sum ((c_i - c_k)\theta)} \quad (4.11)$$

P_k - вероятность следования по назначенному маршруту;

c_i, c_k - стоимость прохождения i -го автомобиля по назначенному маршруту;

θ - параметр модели.

Диаграмма влияния параметров логит-модели на выбор маршрута как показано на рис. 4.12:

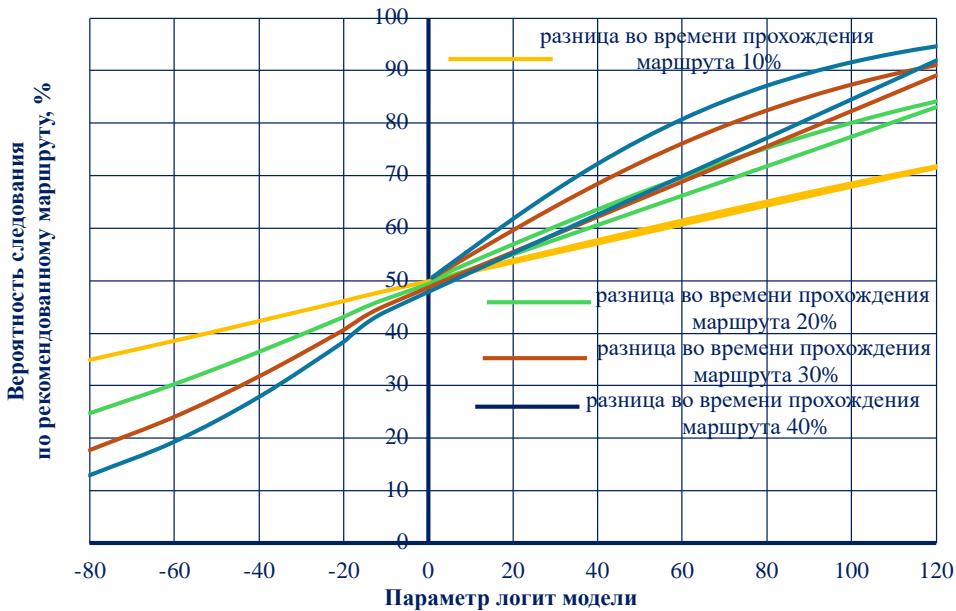


Рис. 4.12 – Влияние параметров логит-модели на выбор маршрута

На рис. 4.13 представлен смоделированный участок дороги в программе моделирования Aimsun:

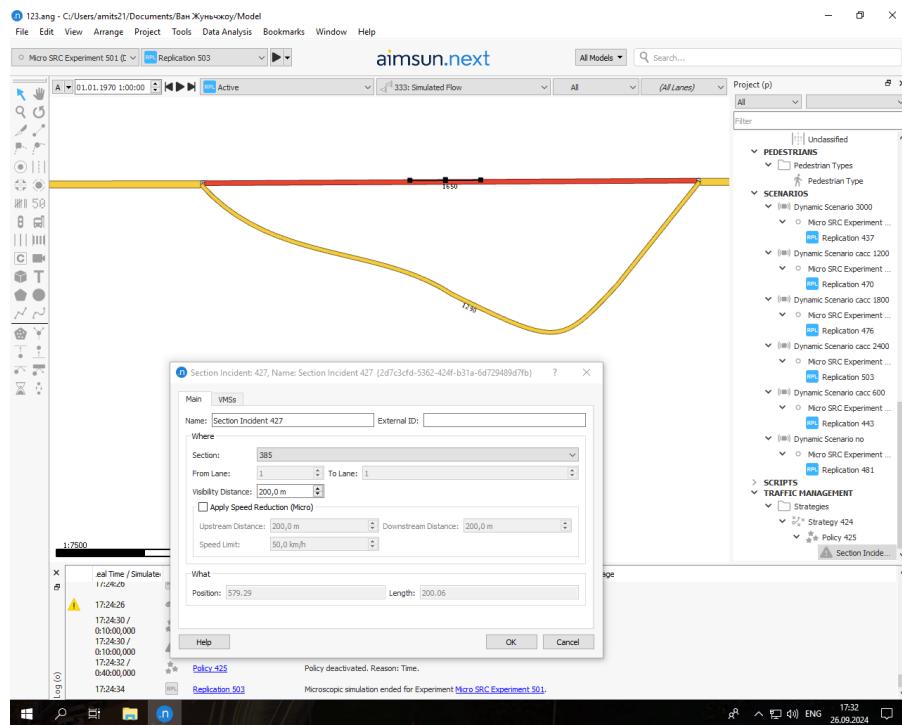


Рис. 4.13 - Смоделированный участок дороги

Время моделирования - один час, с 0:10 до 0:40 - время инцидентов, заблокированная зона - одна полоса длиной 200 м.

Моделирование включало шесть различных сценариев, каждый из которых

характеризовался определенными условиями дорожного движения. Сценарии включали:

- Отсутствие инцидентов, движение обычных автомобилей: данный сценарий представлял собой эталонную модель для сравнения эффективности К-ИТС при нормальных условиях движения.

- Наличие инцидентов, движение обычных автомобилей: сценарий моделировал ситуацию с возникновением инциденты в тоннеле, при этом участие К-ИТС в управлении не предполагалось.

- Наличие инцидентов, участие 20% подключенных автомобилей: этот сценарий включал участие К-ИТС, с долей подключенных автомобилей, составляющей 20%. Важным аспектом здесь является оценка влияния интеграции подключенных автомобилей на улучшение координации и безопасности движения.

- Наличие инцидентов, участие 40% подключенных автомобилей: сценарий расширял влияние К-ИТС, с увеличением доли подключенных автомобилей до 40%. Это позволяет оценить, как увеличение количества подключенных автомобилей влияет на параметры движения.

- Наличие инцидентов, участие 60% подключенных автомобилей: данный сценарий продолжает тренд увеличения количества подключенных автомобилей, оценивая, как растущая степень координации влияет на эффективность управления дорожным движением в условиях инцидентов.

- Наличие инцидентов, участие 80% подключенных автомобилей: в этом сценарии почти все автомобили являются подключенными, что позволяет оценить максимальный потенциал К-ИТС в плане улучшения параметров дорожного движения.

В ходе моделирования с использованием Aimsun было получено четыре основных параметра, характеризующих эффективность движения:

Время задержки (сек/км): этот параметр отражает среднее время, в течение которого транспортные средства остаются в состоянии ожидания из-за дорожных условий.

Средняя очередь (авт): данный показатель описывает среднее количество

транспортных средств в очереди на различных участках дороги.

Скорость (км/ч): средняя скорость транспортных средств на разных участках маршрута.

Время в пути (сек): общее время, необходимое транспортным средствам для преодоления заданного маршрута.

Результаты моделирования для каждого из шести сценариев были представлены в виде таблиц и графиков, что позволило наглядно отобразить влияние подключения автомобилей к системе К-ИТС на параметры движения. Оставлено место для дальнейшего добавления результатов, что позволит провести более глубокий анализ и подтвердить эффективность разработанной архитектуры К-ИТС в различных условиях эксплуатации.

В таблице 4.5 представлены результаты четырех показателей, полученных в результате моделирования для различных сценариев.

Таблица 4.5 – Результаты, полученных в результате моделирования для различных сценариев.

Сценарий	1	2	3	4	5
Доля подключенных автомобилей, %	0	20	40	60	80
Время задержки (сек/км)	30,39	14,5	9,95	7,37	5,8
Средняя очередь (авт)	6,55	1,38	0,13	0,04	0,02
Скорость (км/ч)	53,71	65,31	69,31	71,66	73,37
Время в пути (сек)	74,08	58,06	53,79	51,6	50,24

На рис. 4.14 - 4.17 представлены в графическом виде четыре показателя, полученные в результате моделирования.

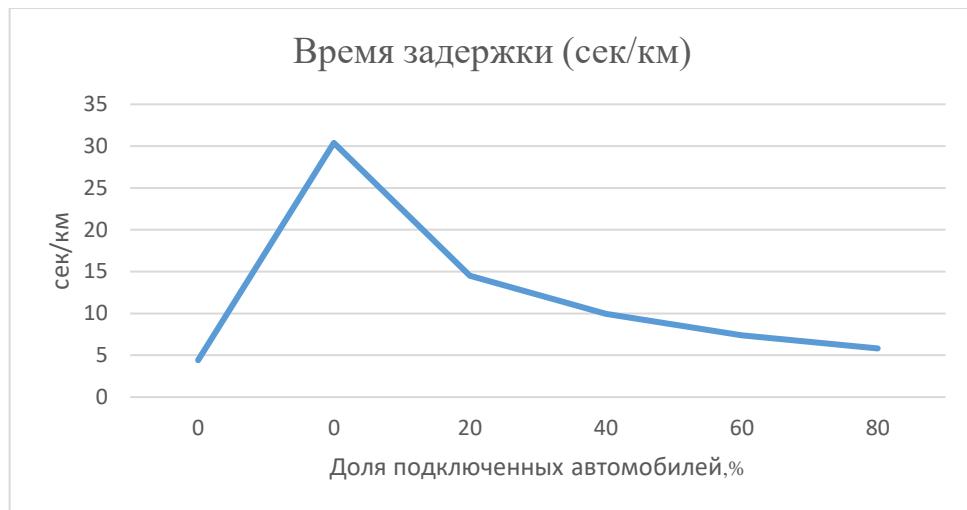


Рис. 4.14 - Время задержки (сек/км)

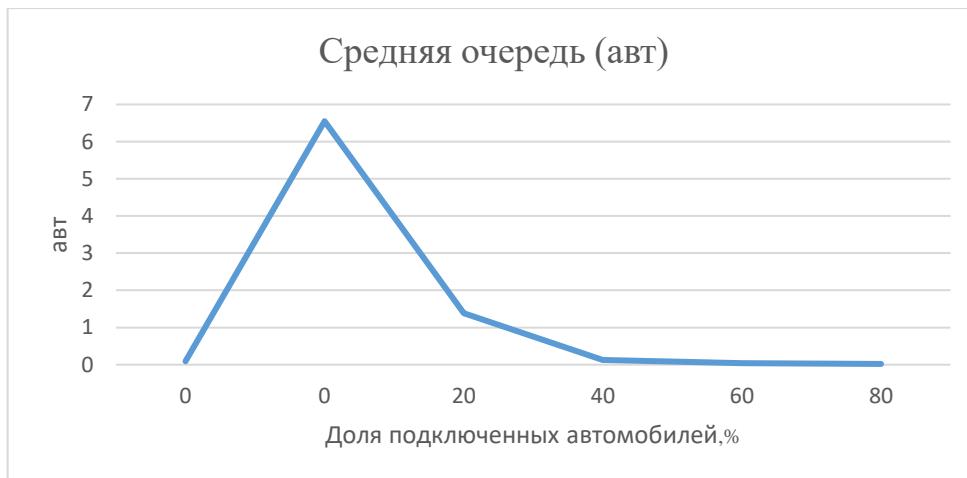


Рис. 4.15 - Средняя очередь (авт)

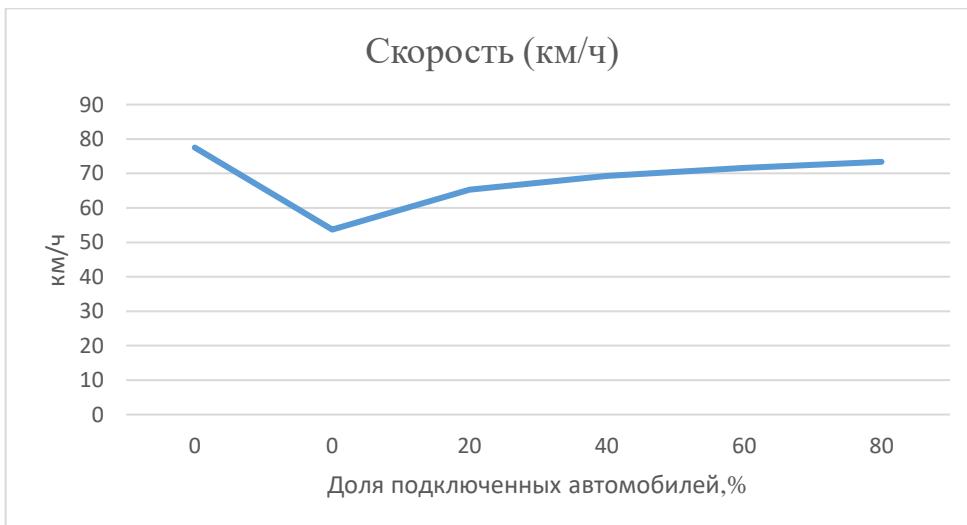


Рис. 4.16 - Скорость (км/ч)



Рис. 4.17 - Время в пути (сек)

Путем нелинейного оценивания взаимосвязи показателей в сценариях инцидентов и доли подключенных автомобилей в транспортных потоках была получена регрессионная зависимость, представленные на рис. 4.18:

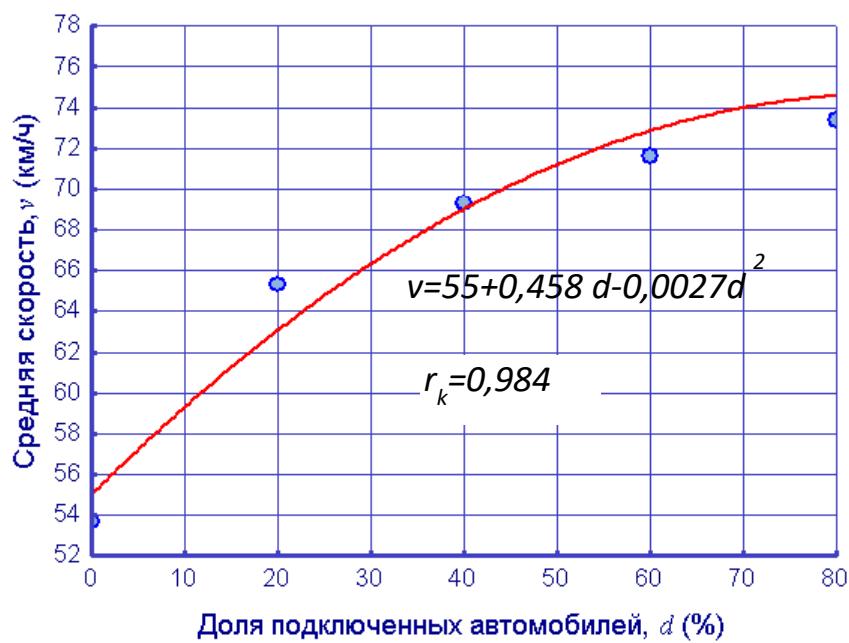


Рис. 4.18 - Зависимость между долей подключенных автомобилей и скоростью

Общий вид модели:

$$v = a + bd + cd^2 \quad (4.12)$$

где v – скорость транспортного потока, км/ч;

d – задержки, с/км;

r_k – коэффициент корреляции

Зависимость между долей подключенных автомобилей и задержкой представлена на рис. 4.19:

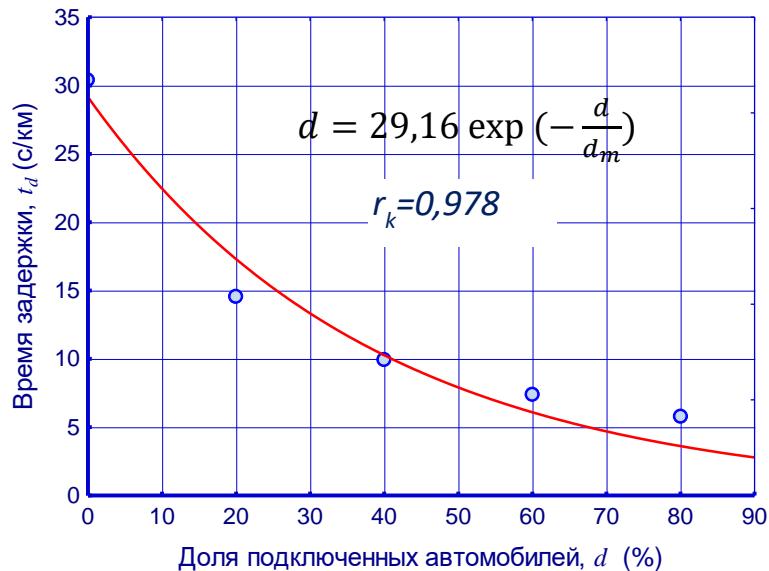


Рис. 4.19 - Зависимость между долей подключенных автомобилей и задержкой

Общий вид модели:

$$d = t_{d0} \exp\left(-\frac{d}{d_m}\right) \quad (4.13)$$

где t_{d0} – задержки в обычном потоке, с/км;

d_m – доля подключенных автомобилей, до которой происходит значительное снижение задержки.

r_k – коэффициент корреляции

Кроме того, было проведено моделирование изменения скорости автомобилей в течение времени для каждого из шести сценариев. Были построены графики изменения скорости автомобилей в реальном времени, а также сравнительные графики средней скорости для всех шести сценариев. На рис. 4.20 - 4.25 показано графики изменения скорости в реальном времени и средней скорости для шести сценариев (σ -среднеквадратичное отклонение скорости).

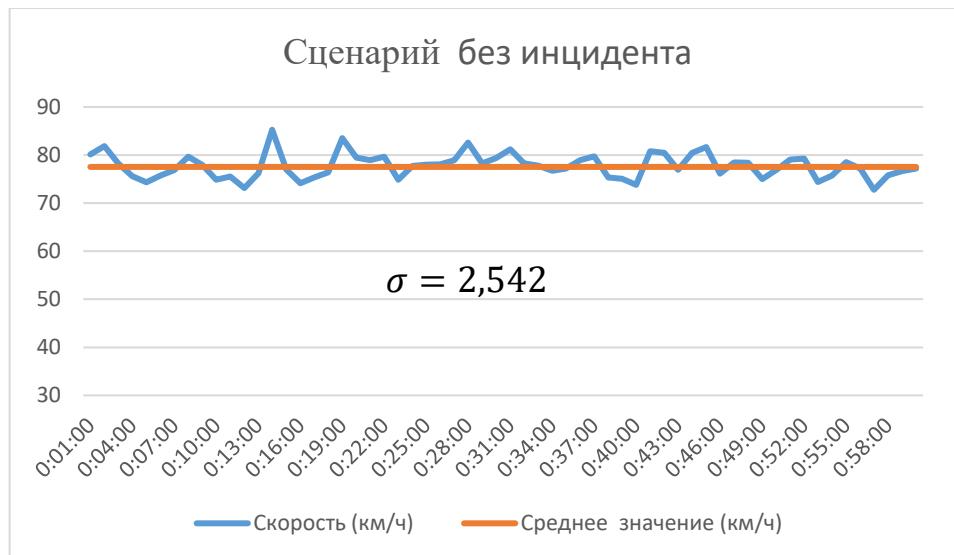


Рис. 4.20 - Скорость в сценарии без инцидента

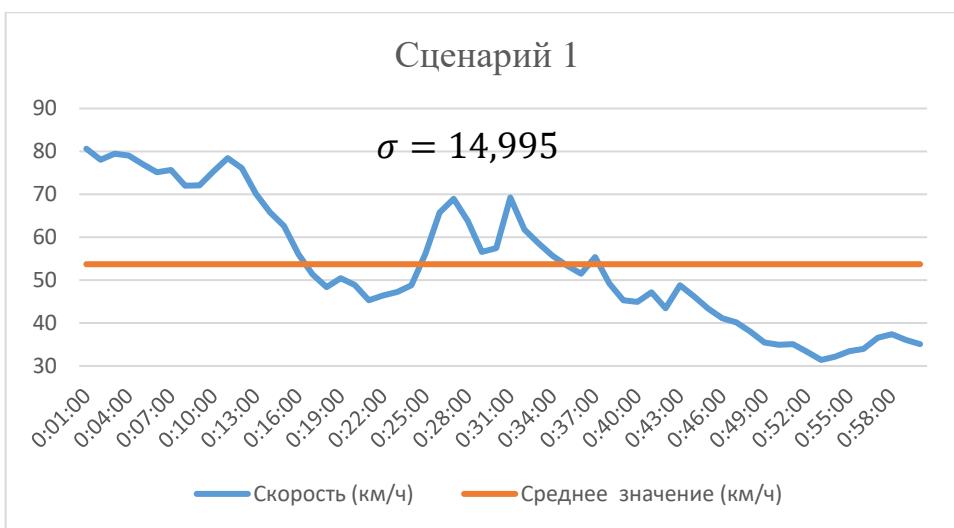


Рис. 4.21 - Скорость в сценарии 1



Рис. 4.22 - Скорость в сценарии 2

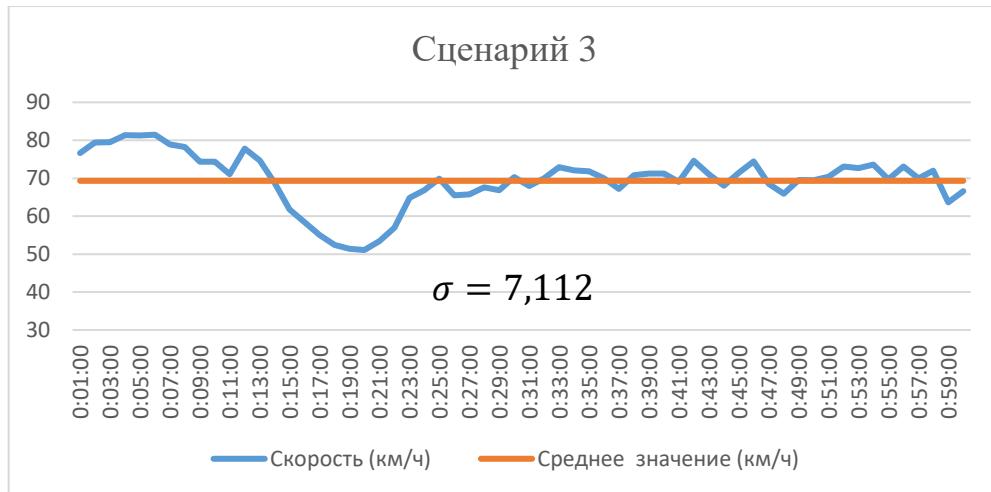


Рис. 4.23 - Скорость в сценарии 3

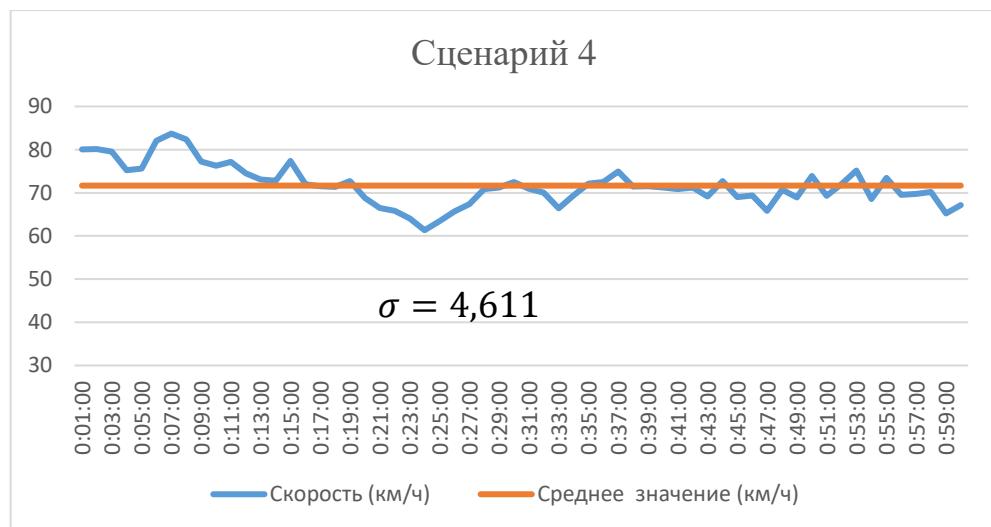


Рис. 4.24 - Скорость в сценарии 4

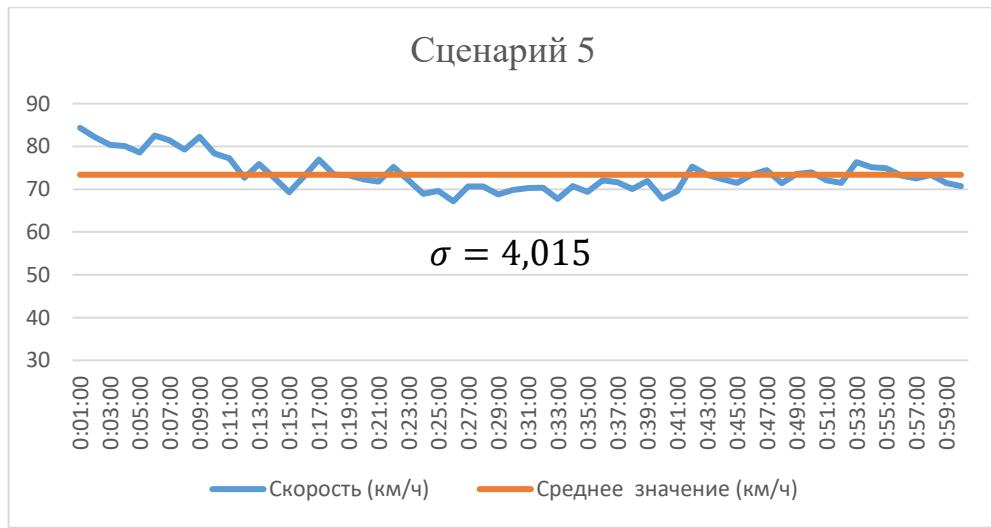


Рис. 4.25 - Скорость в сценарии 5

Анализируя эти графики, можно получить следующие результаты: условия движения резко ухудшаются в Сценарии 1, поскольку происходят инциденты; они значительно улучшаются после внедрения подключенных автомобилей в Сценарии 2; они еще больше улучшаются по мере увеличения доли подключенных автомобилей, но улучшение ослабевает и перестает существенно меняться после добавления более 60 процентов подключенных автомобилей.

На основе анализа времени задержки может быть определено снижение временных потерь t на один автомобиль на каждый километр в различных экспериментальных сценариях с участием подключённых автомобилей. Совокупное сокращение временных потерь t_c рассчитывается по следующей формуле:

$$t_c = t * q \quad (4.14)$$

где t – сокращение временных потерь на один автомобиль, сек/(км·авт);

t_c – общее сокращение временных потерь, сек/(км·ч);

q – интенсивность, авт/ч.

В соответствии с отраслевым стандартом ГА/T 1248-2015 «Руководство по оценке экономических потерь от дорожно-транспортных заторов», ценность времени человека $VOTT_p$ рассчитывается на основе данных о среднем располагаемом доходе городского населения за предыдущий год, публикуемых статистическим органом на провинциальном уровне в регионе, где произошло событие. Единица измерения — юань в час (юань/ч).

Ценность потерь времени человека $VOTT_p$ (юань/ч) может быть рассчитана по следующей формуле:

$$VOTT_p = \frac{Per_{income}}{Time_{work}} \quad (4.15)$$

Где Per_{income} – среднедушевой располагаемый доход городского населения в соответствующем городе, юань; в случае, если необходимо учитывать влияние дорожно-транспортных заторов на социально-экономическое развитие, этот

показатель может быть заменён на показатель «среднегодовой ВВП на душу населения» в данном городе;

$Time_{work}$ – рабочее время, соответствующее Per_{income} , час (ч): принимается 240 рабочих дней в году (365 календарных дней за вычетом выходных и праздников), по 8 часов в день. На основе этого рассчитывается стоимость одного часа рабочего времени в пересчёте на душу населения.

В 2024 году среднедушевой располагаемый доход городского населения провинции Шаньси составил 43 036 юаней (по данным отчёта, опубликованного Шаньсийским управлением выборочных обследований Национального бюро статистики КНР), что соответствует значению $VOTT_p = 22,41$ юань/ч.

При расчёте только сокращения экономических потерь водителей, полученные результаты представлены в таблице 4.6:

Таблица 4.6 – Снижение экономических потерь

Сценарий	2	3	4	5
Доля подключенных автомобилей, %	20	40	60	80
Задержка t , сек/(км·ч)	15,89	20,44	23,02	24,59
t_c , час/(км·ч)	13,24	17,03	19,18	20,49
Снижение экономических потери на 1 автомобиль, юань/(км·ч)	0,1	0,13	0,14	0,15
Снижение экономических потерь в реальном примере, юань/(км·ч)	296,81	381,8	429,99	459,31

Кроме того, была рассмотрена еще одна ситуация, когда из-за большого уклона на дороге с серпантином в горной местности и альтернативным тоннелем. В таких условиях преимущества К-ИТС становятся еще более очевидными. Мы смоделировали тоннели участок дороги в горной местности, схема моделирования которого приведена на рис. 4.26:

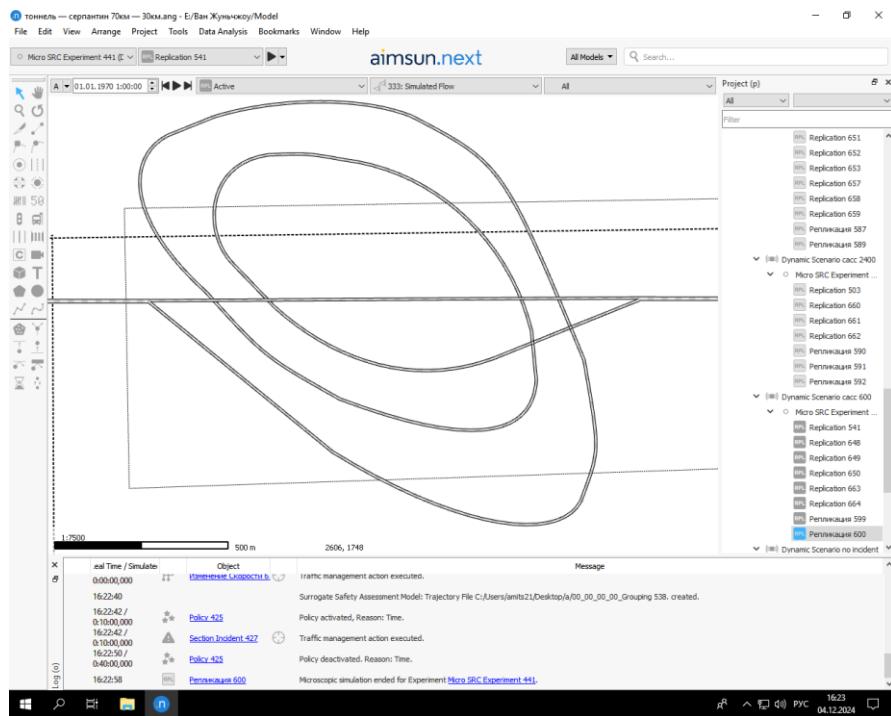


Рис. 4.26 - Смоделированный участок дороги со серпантином

Длина тоннеля автомагистраля в данном моделировании составляет 1,39 км, а ограничение скорости - 80 км/ч (2 полоса, 4000 авт/ч). Длина серпантина составляет 8 км, ограничение скорости — 70 км/ч (2 полосы, 2800 авт/ч). Ограничение скорости на участках автомагистраля до въезда в тоннель и после выезда составляет 100 км/ч (3 полосы, 6300 авт/ч). Общее количество транспортных средств, участвующих в моделировании, — 3000 автомобилей. Сценарии моделирования соответствуют предыдущим сценариям и включают:

- 1а. Наличие инцидента, движение обычных автомобилей: данный сценарий моделировал ситуацию с возникновением инцидента в тоннеле, при этом участие К-ИТС в управлении не предполагалось.
- 2а. Наличие инцидента, участие 20% подключенных автомобилей: в этом сценарии включено участие К-ИТС с долей подключенных автомобилей, составляющей 20%.

Результаты четырех показателей, полученные в результате моделирования для различных сценариев, представлены в таблице 4.7:

Таблица 4.7 – Показатели, полученные в результате моделирования
для различных сценариев

Сценарий	1а	2а
Доля подключенных автомобилей, %	0	20
Время задержки (сек/км)	77,51	57,79
Средняя очередь (авт)	104,89	68,75
Скорость (км/ч)	41,04	45,22
Время в пути (сек)	120,09	100,87

По сравнению со сценарием 1а, внедрение подключенных автомобилей в сценарии 2а привело к значительному улучшению результатов, несмотря на то, что из-за большей длины серпантине эффективность улучшения была ниже, чем в предыдущих сценариях с обычным обездным маршрутом. Тем не менее, также наблюдалось значительное повышение эффективности движения.

Выводы по главе

1. К-ИТС характеризуются высокой степенью интеграции и кооперации различных транспортных и информационных систем. Это обеспечивает синергетический эффект в управлении транспортными потоками и повышает общую безопасность и эффективность дорожного движения. Системы К-ИТС способны адаптироваться к изменяющимся условиям в реальном времени, что является ключевым аспектом для современных динамичных транспортных сред.

2. В главе подробно изложено, как строится логическая архитектура К-ИТС, начиная с определения функциональных требований и заканчивая описанием взаимодействий между отдельными компонентами. Физическая архитектура, в свою очередь, демонстрирует реализацию этих функций через конкретные технические решения и инфраструктурные элементы. Это включает в себя использование современных технологий обработки данных, таких как большие данные и облачные вычисления, для обеспечения высокой производительности и надежности системы.

3. Примеры реального использования К-ИТС подчеркивают их значимость для современной транспортной инфраструктуры. С увеличением доли подключенных автомобилей в системе К-ИТС можно существенно сократить время задержки, увеличить среднюю скорость движения, уменьшить длину очередей и время в пути, а также снизить стандартное отклонение скорости. В сравнении с сценарием 1 (инцидент без подключенных автомобилей), сценарии с подключенными автомобилями показали следующие улучшения:

Время задержки: при увеличении доли подключенных автомобилей до 20 %, время задержки уменьшилось на 52,2 %, при 40 % подключенных автомобилей — на 67,2 %, при 60 % — на 75,7 %, и при 80 % — на 80,9 %.

Средняя очередь: при 20 % подключенных автомобилей, длина очереди сократилась на 78,9 %, при 40 % — на 98 %, при 60 % — на 99,3 %, и при 80 % — на 99,6 %.

Скорость: при 20 % подключенных автомобилей, средняя скорость увеличилась на 21,6 %, при 40 % — на 29 %, при 60 % — на 33,4 %, и при 80 % — на 36,6 % подключенных автомобилей.

Время в пути: при 20 % подключенных автомобилей, время в пути сократилось на 21,6 %, при 40 % — на 27,4 %, при 60 % — на 30,3 %, и при 80 % — на 32,2 %.

4. На участке с серпантином, при доле подключенных автомобилей в 20%, сценарий 2а показал следующие улучшения:

Время задержки уменьшилось на 25,4%, Длина очереди сократилась на 34,5%, Средняя скорость увеличилась на 10,2%, Время в пути сократилось на 16%.

Таким образом, результаты моделирования показывают, что введение К-ИТС и увеличение доли подключенных автомобилей существенно улучшают все основные параметры дорожного движения, что подтверждает высокую эффективность и актуальность предложенной архитектуры К-ИТС для применения в реальных условиях эксплуатации.

Эти выводы иллюстрируют важность комплексного подхода к проектированию и эксплуатации кооперативных интеллектуальных транспортных систем, что обусловлено их способностью эффективно интегрировать различные аспекты транспортной и информационной инфраструктуры, обеспечивая высокую адаптивность и отзывчивость системы в динамично меняющемся транспортном ландшафте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Полученные в диссертационной работе результаты являются теоретической и практической основой решения задач, заключающихся в разработке архитектуры К-ИТС на основе Китайской национальной архитектуры интеллектуальных транспортных систем.

2. Сформированные в диссертации требования к процессно-ориентированному и объектно-ориентированному методам разработки архитектуры обеспечивают более глубокие знания различных методов разработки. Это имеет большое значение для стран, выбирающих собственные методы развития архитектуры интеллектуальных транспортных систем. Из приведенного анализа видно, что оба метода имеют свои особенности в рамках системы ИТС. Процессно-ориентированный метод проще и практичнее, но для более сложных систем, когда требуются новые пользовательские сервисы, его сложнее пересматривать; объектно-ориентированный метод требует логического анализа каждого пользовательского сервиса ИТС по отдельности, что является большой нагрузкой, но его удобно обновлять и поддерживать. Поэтому при выборе метода разработки архитектуры ИТС можно учитывать существующий фундамент разработки, уровень знаний разработчиков и другие факторы. С учетом существующего в Китае фундамента для разработки архитектуры ИТС, в качестве руководства принят процессно-ориентированный метод.

3. В данном исследовании теоретическая ценность заключается в предложении алгоритма разработки архитектуры интеллектуальных транспортных систем, учитывающего специфику Китая. Это не только способствует лучшему пониманию и решению сложных проблем городского транспорта, но и предоставляет новую перспективу для будущих исследований ИТС.

4. Созданы логическая архитектура К-ИТС и ее диаграмма потоков данных для функционального домена. С применением процессно-ориентированного подхода были оптимизированы взаимодействия между различными функциональными доменами системы, что способствовало повышению уровню безопасности и

эффективности системы, особенно в аспектах управления данными и информационной безопасности.

5. Созданы физическая архитектура платформы К-ИТС управления интеллектуальными тоннелями на основе логической архитектуры К-ИТС. С помощью единой платформы сбора данных, взаимодействия данных и интегрированного управления бизнесом она объединяет все виды данных о дорожном движении и разрушает информационные барьеры между различными системами для обеспечения совместного использования данных. Мониторинг и управление транспортными средствами в тоннеле в режиме реального времени могут быть достигнуты за счет взаимодействия данных о движении между транспортными средствами, дорогами, центром и совместной обработки различных типов дорожной информации во избежание дорожно-транспортных происшествий.

6. На основании проведенного моделирования и анализа можно сделать вывод, что введение кооперативных интеллектуальных транспортных систем (К-ИТС) в управлении транспортными потоками приводит к значительным улучшениям в плане эффективности и безопасности дорожного движения. В частности, К-ИТС позволяют снизить время задержек на 50-80%, уменьшить длину очередей и время в пути, а также увеличить среднюю скорость движения на 20-40% и уменьшить стандартное отклонение скорости, что свидетельствует о повышении стабильности движения. Эти результаты подтверждают эффективность разработанной логической и физической архитектуры К-ИТС и её пригодность для применения в реальных условиях эксплуатации.

7. При увеличении доли подключённых автомобилей с 20 % до 80 % снижение экономических потерь составляет 54,7 %. Данный результат подтверждает высокую эффективность интеграции подключённых автомобилей в дорожную инфраструктуру с точки зрения макроэкономической выгоды. Таким образом, внедрение технологий К-ИТС не только способствует улучшению показателей безопасности и пропускной способности, но и оказывает прямой положительный эффект на социально-экономические издержки, связанные с дорожно-транспортными заторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhankaziev S.V. Razrabotka projektov intellektual'nykh transportnykh system [Project development of intelligent transport systems]: ucheb. posobie. M.: MADI, 2016. 104 p.
2. Ван Жуньчжоу, Зырянов, В.В. Интеллектуальные системы управления дорожным движением // Информационные технологии и инновации на транспорте : Материалы VII Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Орел, 18–19 мая 2021 года. Том 1. – Орел: Орловский государственный универси, 2021. – С. 157-169.
3. Криволапова О.Ю. Оценка эффективности организации дорожного движения при перераспределении транспортных потоков : диссертация кандидата техн. наук. М., 2016. 16 p.
4. «Программа планирования национальной комплексной трехмерной транспортной сети КНР»
5. Лапшин В.С., Елькин Д.М., Елькин С.А., Кучеров Ю.И./Рогозов Обзор методов проектирования архитектур интеллектуальных транспортных систем // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 4(51). – С. 165.
6. Wang R., Zyryanov V. V. A Method for Designing the Architecture of Intelligent Transportation Systems in the People's Republic of China. E3S Web Conf. 403 07022 (2023). DOI: 10.1051/e3sconf/202340307022.
7. National ITS Architecture Team. Regional ITS Architecture Guidance -Developing, Using and Maintaining on ITS Architecture for Your Region. FHWA-HOP-06-112 EDL-14317July 2006.
8. Dragănescu C., Popa C., Tundrea A. C. Context-Aware Adaptive System for Intelligent Transport Management //Control Systems and Computer Science (CSCS), 2017 21st International Conference on. – IEEE, 2017. – pp. 379-384.
9. Wang Xiaojing. The development history of China's intelligent transportation - the first experience of ITS [J]. China Highway. 2022 (05) .

10. Zhang Jisheng, Li Bin, Wang Xiaojing, Zhang Fan, Sun Xiaoliang. Architecture and Development Path Design of Smart Expressway [J]. Highway Traffic Science and Technology. 2018 (01).
11. Wang Xiaojing. Technical characteristics and development suggestions of a new generation of intelligent transportation system [J]. Engineering Research-Engineering in Interdisciplinary Perspective. 2014 (01).
12. SUN Ling, LI Yameng, GAO Jian. Architecture and Application Research of Cooperative Intelligent Transport Systems. Procedia Engineering 137(2016) –pp. 747 – 753.
13. Zhang Ke, Liu Hao, Liu Dongmei, Wang Chunyan, Li Zhenlong. Construction method and application of intelligent transportation system architecture. Beijing: People's Communications Publishing House, 2013.
14. "China Intelligent Transportation System Architecture" Special Group. China Intelligent Transportation System Architecture. Beijing: People's Communications Publishing House, 2003. – pp. 15-200.
15. Susel Fernandez, Takayuki Ito, Rafik Hadfi. Architecture for intelligent transportation system based in a general traffic ontology // Transportation Engineering. 2016 (10) .DOI:10.1007/978-3-319-23467-0_4.
16. Зырянов В.В., Феофилова А.А., Чуклинов Н.Н. Динамическая маршрутизация транспортных потоков как метод снижения транспортной нагрузки на элементы УДС / Зырянов В. В // Мир транспорта и технологических машин. 2018. № 1 (60). – С. 74-80.
17. Володькин П.П. Методология формирования и управления муниципальной автотранспортной системой // Дальнаука. – Владивосток. – 2011.
18. An official website of the frame architecture, URL: frame-online.eu
19. Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems. IEEE 1471-2000. URL: standards.ieee.org/findstds/standard/1471- 2000.html
20. Полтавская Ю.О. Методология проектирования архитектуры интеллектуальной транспортной системы. Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2022. – № 9. – С. 199-200. – EDN BZLNWQ.

21. Новиков А.Н., Глаголев С.Н., Новиков И.А., Шевцова А. Г. Построение архитектуры ИТС на изолированном участке УДС // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте : Материалы I международной научно-практической конференции: в 2 томах, Липецк, 12–13 декабря 2018 года. Том 1. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2018. – С. 133-141. – EDN YPQTCH.
22. Соколянский В.В., Калашников Ю.П., Егоров В.Е., Егоров Н.Д. Архитектура современных интеллектуальных транспортных систем и пути ее внедрения в экономическую инфраструктуру городов. Техника и технология: новые перспективы развития. – 2015. – № XVII. – С. 129-137. – EDN UIXXAZ.
23. Кузьмина М.А. О необходимости внедрения единой архитектуры интеллектуальной транспортной системы в России / М. А. Кузьмина, Т. А. Кошеров // Проблемы автомобильно-дорожного комплекса России: Организация автомобильных перевозок и безопасность дорожного движения, Пенза, 31 октября 2013 года. – Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2013. – С. 250-255. – EDN TPIRTB.
24. Прохорова А. А, Сабинин А. А. Перспективы развития интеллектуальной транспортной системы в Российской Федерации // Современное состояние и перспективы обеспечения безопасности дорожного движения: теория и практика : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Орёл, 27 ноября 2020 года. – Орёл: Орловский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации имени В.В. Лукьянова, 2020. – С. 88-94. – EDN BKCRHY.
25. Басков В. Н., Исаева Е.И. Оценка уровня интеллектуализации дорожно-транспортной системы // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 2(77). – С. 76-84. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-77-2-76-84. – EDN GNKUNP.
26. Комаров В.В., Гараган С.А. Архитектура и стандартизация телематических и интеллектуальных транспортных систем. Зарубежный опыт отечественная практика. – М.: НТБ «ЭНЕРГИЯ», 2012. – 352 с.

27. Криволапова О.Ю., Ли В. Опыт применения интеллектуальных транспортных систем в Китайской народной республике // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 1(60). – С. 88-93. – EDN XMPWPB.
28. Булатова О. Ю. Адаптация транспортной инфраструктуры к системе "умный город" // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 2(73). – С. 92-98. – DOI 10.33979/2073-7432-2021-73-2-92-98. – EDN CRQHGS.
29. Ван Ж. Анализ методов разработки архитектуры интеллектуальных транспортных систем / Ж. Ван, В. В. Зырянов // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 2-1(85). – С. 106-112. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-1(85)-106-112. – EDN YNUSGR.
30. Ван Ж. Особенности методов разработки архитектуры интеллектуальных транспортных систем в китайской Народной Республике / Ж. Ван // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 1-3(84). – С. 103-110. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-3(84)-103-110. – EDN KJNPK.
31. Ван Ж. Архитектура кооперативных интеллектуальных транспортных систем / Ж. Ван, В. В. Зырянов // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 3-2(86). – С. 119-125. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-119-125. – EDN LBYLXC.
32. Адарич П. Е. Реализация доменного сервиса ИТС. Городской пассажирский транспорт в крупных городах России / П. Е. Адарич // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 1(48). – С. 182-186. – EDN TQKGWV.
33. Безлекин М. Н. Анализ ключевых проектных направлений развития интеллектуальных транспортных систем в российском сегменте Баренцева региона / М. Н. Безлекин, И. В. Булдакова, А. Н. Волчков // Актуальные вопросы современной экономики. – 2022. – № 4. – С. 276-284. – EDN KDXJWF.
34. Санжапов Р. Р. Интеллектуальные транспортные системы / Р. Р. Санжапов, С. В. Ганзин. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2021. – 96 с. – ISBN 978-5-9948-4178-5. – EDN IMROIU.
35. Малыгин И. Г, Комашинский В.И., Королев О. А. Когнитивные технологии обеспечения безопасности дорожного движения в интеллектуальной транспортной

системе // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах : Сборник трудов (электронная версия) участников XIII международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 27 сентября 2018 года – 29 2019 года / Институт безопасности дорожного движения, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет © Авторы статей, 2018. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2018. – С. 37-40. – EDN ISDCVW.

36. Горев А.Э., Попова О.В. Архитектура сервисов интеллектуальной транспортной системы в области управления процессами перевозок пассажиров // Архитектура - строительство - транспорт: Материалы 73-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. В 3-х частях, Санкт-Петербург, 04–06 октября 2017 года. Том Часть II. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. – С. 99-104. – EDN DEHZDH.

37. Малыгин И.Г., Комашинский В.И., Королев О.А. Внедрение когнитивных технологий обеспечения безопасности дорожного движения в интеллектуальные транспортные системы // Транспорт России: проблемы и перспективы - 2018: Материалы международной-научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 13–14 ноября 2018 года. Том 2. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2018. – С. 7-13. – EDN WIWJFK.

38. Криволапова О.Ю. Особенности построения архитектуры интеллектуальных транспортных систем // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2012. – № 1(24). – С. 99-102. – EDN OWUAOJ.

39. Ефанов В.Н, Саяпова Л.Р. Архитектура информационно-управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем / В. Н. Ефанов// Intelligent Technologies for Information Processing and Management (ITIPM'2014): Proceedings of the 2nd International Conference, Уфа, 10–12 ноября 2014 года. Том 2. – Уфа: ГОУ ВПО

"Уфимский государственный авиационный технический университет", 2014. – С. 9-14. – EDN VYFAPT.

40. Торобеков Б.Т. Охотников В.И., Лучихин М.Н. Интеллектуальная транспортная система для крупных городов // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2019. – № 1(49). – С. 106-112. – EDN DJATP.

41. Операйло К. В., Якимов М.А., Дроздова В. И. Современные тенденции развития интеллектуальных транспортных систем // Студенческая наука для развития информационного общества : Сборник материалов XI Всероссийской научно-технической конференции в онлайн формате (посвящается светлой памяти профессора Николая Ивановича Червякова), Ставрополь, 22–23 декабря 2020 года. – Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2020. – С. 504-512. – EDN SLVXWW.

42. Савин Г. В. Интеллектуальная транспортная система: оптимизация потоковых процессов в городе - наброски будущих изменений // Russian Economic Bulletin. – 2020. – Т. 3, № 6. – С. 101-108. – EDN UFXRTI.

43. Зайцева А.А., Дудаев Н.О., Зайцев Е.А., Кильмаков Д.К. Высокопроизводительный вычислительный комплекс для интеллектуальной транспортной системы // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2022. – Т. 18, № 2. – С. 107-120. – DOI 10.17122/1999-5458-2022-18-2-107-120. – EDN AIJRLH.

44. Матназаров Д.Д., Леонова Т.С., Минаев А.С., Катунин А.А. Создание систем технической помощи в интеллектуальной транспортной системе // Организация дорожного движения и безопасность на дорогах европейских городов : материалы Международной молодежной научно-практической конференции, Орел, 23 апреля 2014 года / Чешский технический университет в Праге, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК». – Орел: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс", 2014. – Р. 53-59. – EDN UTHTVD.

45. Лукомская О.Ю. Системный подход при проектировании интеллектуальных транспортных систем / О. Ю. Лукомская // ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ: Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 28–29 мая 2019 года. – Санкт-Петербург: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2019. – С. 37-43. – EDN ZLGZKC.

46. Хабаров В.И., Теселкин А.А., Сарычев С.П. Система управления транспортным комплексом как элемент интеллектуальной транспортной системы // Наука, образование, кадры : материалы конференции в рамках V Международного форума «Транспорт Сибири», Новосибирск, 25–28 мая 2016 года / Сибирский государственный университет путей сообщения. – Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения, 2016. – С. 13-17. – EDN WXCEZX.

47. Николаева Р. В. Совершенствование транспортной системы на основе развития интеллектуальных транспортных систем / Р. В. Николаева // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: интеллектуальные транспортные системы : Материалы IV международной научно-практической конференции, Казань, 25–26 февраля 2016 года. – Казань: Научный центр безопасности жизнедеятельности, 2016. – С. 387-392. – EDN YPACUN.

48. Макаев Д. В. Система мониторинга состояния водителя как составная часть интеллектуальной системы управления транспортным потоком / Д. В. Макаев, И. И. Иванов, А. П. Юров // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы VII Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Орел, 18–19 мая 2021 года. Том 1. – Орел: Орловский государственный универси, 2021. – С. 235-243. – EDN YVZKXH.

49. Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы как системы управления / И. Н. Розенберг // Славянский форум. – 2016. – № 4(14). – С. 204-211. – EDN XBWCCJ.

50. Новиков А.Н., Катунин А.А., Кулев А.В., Пешехонов М.В. Сравнение систем определения местоположения и их применение в интеллектуальных транспортных

системах // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. – № 2(41). – С. 109-113. – EDN PPJZBC.

51. Бродский С.А., Панферов А.И., Небылов А.В., Чикрин Д.Е. Интегрированная система навигации и распределенного управления интеллектуальной транспортной системой // XXVII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам: Сборник материалов, Санкт-Петербург, 25 мая – 05 2020 года. – Санкт-Петербург: "Концерн "Центральный научно-исследовательский институт "Электроприбор", 2020. – С. 76-80. – EDN QZYQPL.

52. Ярмолинский А. И. Интеллектуальные транспортные системы: эффекты от применения безостановочной системы взимания платы на российских дорогах / А. И. Ярмолинский, Е. Ю. Алексеева // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения : международный сборник научных трудов. Том 16. – Хабаровск : Тихоокеанский государственный университет, 2016. – С. 169-173. – EDN YLDKKB.

53. Кузнецова Д.С. Системы погодного мониторинга в составе интеллектуальных транспортных систем / Д. С. Кузнецова // РОЛЬ ИННОВАЦИЙ в ТРАНСФОРМАЦИИ СОВРЕМЕННОЙ науки: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Волгоград, 05 августа 2016 года / Ответственный редактор: Сукиасян Асатур Альбертович. – Волгоград: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна", 2016. – С. 27-31. – EDN WHIRUF.

54. Комашинский В.И. Когнитивные вычислительные системы и их применение в интеллектуальной транспортной системе Российской Федерации / В. И. Комашинский, Д. А. Белоцветов // ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ : Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 28–29 мая 2019 года. – Санкт-Петербург: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2019. – С. 236-245. – EDN HADAHM.

55. Вишневский В.М., Минниханов Р. Н., Дудин А. Н. [и др.]. Новое поколение систем безопасности на автодорогах и их применение в интеллектуальных

транспортных системах // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2013. – № 4. – С. 80-89. – EDN RRXTEJ.

56. Плетнев С.В. Автоматизированная система учета пассажиропотока как составляющая интеллектуальной транспортной системы города / С. В. Плетнев, А. В. Ференец // Вестник НЦБЖД. – 2016. – № 3(29). – С. 47-49. – EDN WNCMOV.

57. Чефранова О.В. Интеллектуальные транспортные системы на платной автодороге: автоматизированные электронные системы взимания платы / О. В. Чефранова, И. А. Берков // Наука и инновации в области сервиса автотранспортных средств и обеспечения безопасности дорожного движения : Сборник научных трудов. – Шахты : ИСОиП (филиал) ДГТУ, 2014. – С. 65-68. – EDN YMUZCB.

58. Тюлютаев О.А. Автоматизированные системы управления общественным транспортом с использованием технологий интеллектуальных транспортных систем / О. А. Тюлютаев // Фундаментальные и прикладные исследования в науке и образовании: сборник статей Международной научно-практической конференции, Новосибирск, 25 января 2020 года. Том Часть 1. – Новосибирск: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна", 2020. – С. 50-52. – EDN WUADNA.

59. Иванов А.Я., Кукарцев А.В., Митюхин Д.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021613911 Российской Федерации. Интеллектуальная транспортная система: модуль "Геоинформационная система сбора, хранения, анализа и графической визуализации данных": № 2021612533: заявл. 02.03.2021: опубл. 16.03.2021; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "МОДУЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ". – EDN MNBQVZ.

60. Белов, Ю.В. Совершенствование системы управления транспортом на основе концепции интеллектуальной транспортной системы / Ю. В. Белов, А. Н. Полетайкин // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. – 2015. – № 2. – С. 4-9. – EDN WHHPNF.

61. Гузенко, А.В. Интеграция современных систем управления финансовыми потоками в интеллектуальные транспортные системы городов / А. В. Гузенко //

Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). – 2014. – № 2(46). – С. 56-62. – EDN SNFJZJ.

62. Меренков, А. О. О роли мобильных приложений в процессе взаимодействия пользователей с интеллектуальной транспортной системой / А. О. Меренков // Реформы в России и проблемы управления - 2016: Материалы 31-й Всероссийской научной конференции молодых ученых, Москва, 25–26 мая 2016 года. – Москва: Государственный университет управления, 2016. – С. 263-265. – EDN XVYBHD.

63. Гребенкина С. А. Интеллектуальные транспортные системы как фактор социально-экономического развития / С. А. Гребенкина, И. А. Гребенкина, А. Л. Благодир // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. – 2020. – № 2. – С. 317-329. – DOI 10.15593/2224-9354/2020.2.23. – EDN WUZLHA.

64. Гусаров А.П. Тенденции регламентации требований к бортовым интеллектуальным транспортным системам в комитете по внутреннему транспорту ЕЭК ООН / А. П. Гусаров // Журнал автомобильных инженеров. – 2011. – № 3(68). – С. 4-8. – EDN PFRTHV.

65. Васильченкова Д.Г. Разработка алгоритмов работы интеллектуальной транспортной системы с помощью компьютерного моделирования дорожного движения / Д. Г. Васильченкова, А. С. Васильев, Ю. М. Нигматянова // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. – 2019. – № 1. – С. 149-154. – EDN XDRGJI.

66. Кабашкин И.В. Интеллектуальные транспортные системы: интеграция глобальных технологий будущего / И. В. Кабашкин // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 2(27). – С. 34-38. – EDN LTASLL.

67. Белешев Д.А. Проблемы развития российских интеллектуальных транспортных систем / Д. А. Белешев // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 2(79). – С. 152-160. – DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-2-152-160. – EDN JVBLJW.

68. Сапрыкин О. Н. Применение подхода многовариантной персистентности при проектировании интеллектуальной транспортной системы / О. Н. Сапрыкин, О. В. Сапрыкина, А. В. Сидоров // Перспективные информационные технологии (ПИТ

2015) : труды Международной научно-технической конференции, Самара, 28–30 апреля 2015 года / Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва. Том 2. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2015. – С. 104-107. – EDN TZIGPL.

69. Альбекова З.М., Новикова Е.Н., Перец Р.В. [и др.]. Разработка интеллектуальной транспортной системы «Управление коммерческим транспортом» // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2023. – № 2(112). – С. 9-17. – DOI 10.35330/1991-6639-2023-2-112-9-17. – EDN GJTFSS.

70. Михеева Т.И. Системный анализ в интеллектуальной транспортной геоинформационной системе ITS GIS / Т. И. Михеева, С. В. Михеев // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса : Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции, Самара, 31 марта 2022 года / Отв. редактор О.М. Батищева

71. Бачевский С.В. Оценка эффективности интеллектуальных транспортных систем / С. В. Бачевский, В. А. Медведев // Автотранспортное предприятие. – 2010. – № 7. – С. 11-13. – EDN QJDEVV.

72. Дурницын О. А. Интеллектуальная транспортная система прогнозирования скорости движения в реальном времени с минимальными данными / О. А. Дурницын, А. В. Маняшин // Техника и технологии: теория и практика. – 2020. – № 1. – С. 61-77. – DOI 10.34286/2712-7419-2020-1-1-61-77. – EDN STHYHU.

73. Галицкий А.С. Разработка математической модели интеллектуальной транспортной системы / А. С. Галицкий // ТРУДЫ МФТИ. Труды Московского физико-технического института (национального исследовательского университета). – 2018. – Т. 10, № 4(40). – С. 34-44. – EDN YXTBHN.

74. Остапенко И.Н. Опыт Японии развития интеллектуальных транспортных систем / И. Н. Остапенко, Р. С. Усенко // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2018. – № 11(117). – С. 36. – EDN UEUQFE.

75. Жанказиев С. В. Принципы формирования архитектуры локального проекта интеллектуальной транспортной системы / С. В. Жанказиев, Р. Ф. Халилев // В мире научных открытий. – 2012. – № 12(36). – С. 105-111. – EDN PFOEIN.

76. Жанказиев С.В. Интеллектуальные транспортные системы и типология водителей / С. В. Жанказиев // От истоков к современности : 130 лет организации психологического общества при Московском университете: сборник материалов юбилейной конференции в 5 томах, Москва, 29 сентября – 01 2015 года / Ответственный редактор: Богоявленская Д.Б.. Том 5. – Москва: Издательство Когито-Центр, 2015. – С. 321-323. – EDN UXYEKN.

77. Жанказиев С.В. Опыт разработки кооперативных и автономных транспортных систем в Российской Федерации / С. В. Жанказиев, А. Ю. Забудский, Д. Ю. Морозов // Транспорт РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ и ПЕРСПЕКТИВЫ - 2016 : Материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 29–30 ноября 2016 года. Том 2. – Санкт-Петербург: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2016. – С. 63-67. – EDN YGVMJR.

78. Zhankaziev S. V., Gavrilyuk M. V., Zamytskikh A. V. [et al.]. Determination of the Coefficient Conflict of Traffic Flow in Real Time by Means of Intelligent Transport Systems // 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings, Moscow, 15–17 марта 2022 года. – Moscow, 2022. – DOI 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744358. – EDN QBGSSI.

79. Жанказиев С. В. Интеллектуальные транспортные системы в обеспечении безопасности дорожного движения / С. В. Жанказиев // Актуальные проблемы деятельности по обеспечению безопасности дорожного движения (составление, проблемы, пути совершенствования) : материалы межведомственной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 26 февраля 2019 года / Составители: А.В. Вашкевич, А.В. Ефимовский. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2019. – С. 124-128. – EDN RSEIZW.

80. Андреев Е.О., Жанказиев С.В., Зырянов В.В., Павлов А.С. Развитие архитектуры интеллектуальных транспортных систем // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2024. – Т. 18, № 1. – С. 38-43. – DOI 10.36724/2072-8735-2024-18-1-38-43. – EDN HNTJMK.

81. Зырянов, В. В. Архитектура интеллектуальных транспортных систем / В. В. Зырянов, А. А. Феофилова : Донской государственный технический университет, 2023. – 76 с. – ISBN 978-5-7890-2121-7. – EDN MUTYWJ.
82. Еремин, С. В. Управление информационными потоками в транспортно-дорожном комплексе (региональный аспект) / С. В. Еремин // Информационно-управляющие системы. – 2012. – № 6(61). – С. 94-96. – EDN PIWQIF.
83. Новиков А. Н., Еремин С. В., Кулев А. В., Ломакин Д. О. Проблемы внедрения интеллектуальных транспортных систем в регионах // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 1(72). – С. 47-54. – DOI 10.33979/2073-7432-2021-72-1-47-54. – EDN LJEINH.
84. Сильянов В. В. Концепция эффективного управления городскими транспортными потоками как инструмент для развития национальной транспортной системы / В. В. Сильянов, А. Н. Новиков, А. Г. Шевцова // XIV Всероссийская мультиконференция по проблемам управления МКПУ-2021 : Материалы XIV мультиконференции в 4 томах, Дивноморское, Геленджик, 27 сентября – 02 2021 года. Том 4. – Ростов-на-Дону - Таганрог: Южный федеральный университет, 2021. – С. 164-166. – EDN MAFZLZ.
85. Евтюков С. А., Грушецкий С. М., Дедков И. Г., Селицкий Д. В. Анализ доступных систем мониторинга коммунальных машин для содержания автомобильных дорог // Грузовик. – 2024. – № 2. – С. 45-48. – DOI 10.36652/1684-1298-2024-2-45-48. – EDN QVTRJG.
86. Клявин В. Э. Развитие концепции экспертной системы безопасности дорожного движения / В. Э. Клявин, Н. В. Барышев, А. В. Двуреченская // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте : Материалы I международной научно-практической конференции: в 2 томах, Липецк, 12–13 декабря 2018 года. Том 1. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2018. – С. 68-73. – EDN VNRWXE.
87. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года.

88. ISO/TC 204/ 15638-1. Intelligent transport systems – Framework for cooperative telematics applications for regulated commercial freight vehicles (TARV) – Part 5: Generic vehicle information, 2011.
89. Отчет о НИР по теме «Научно-методическое обеспечение правового регулирования отношений в области интеллектуальных транспортных систем». М.: ОАО «НИИАТ», 2010.
90. Song Shibin, Qian Junqi. Design of intelligent transportation system based on Beidou navigation[C]//Electronic Proceedings of the 3rd Annual Conference of China Satellite Navigation Academic Conference - S01 Beidou/GNSS Navigation Application. 2012.
91. Wang Lei, Li Zhixuan. Research on traffic congestion prediction and mitigation strategy based on intelligent transportation system[J]. Transportation Manager World, 2024:77-79.DOI:10.3969/j.issn.1673-3681.2023.36.026.
92. Li Yang, Zhai Jun, Chen Yan. Using ontology to realize semantic integration of intelligent transportation system[J]. Information Technology, 2005, 29(6):4. DOI:10.3969/j.issn.1009-2552.2005.06.003.
93. Xu Zijian, Yu Mei. Application and improvement of V2V technology in intelligent transportation system[J]. Enterprise Technology Development, 2016.DOI:CNKI:SUN:QYJK.0.2016-13-011.
94. Qian Hongsheng. Research on optimal path planning algorithm in intelligent transportation system [D]. Hangzhou University of Electronic Science and Technology, 2014. DOI: 10.7666/d.D484992.
95. He Jianwei, Zeng Zhenxiang, Li Zhiheng.Benefit Evaluation Framework of Intelligent Transportation Systems[J]. Journal of Transportation Systems Engineering & Information Technology, 2010, 10(1): 81-87.DOI:10.1016/S1570-6672(09)60025-8.
96. Chen Xumei, Yu Lei, Geng Yanbin, et al. Regional ITS framework development method and case study[J]. Beijing Journal of Traditional Chinese Medicine, 2014, 33(1):2.DOI:CNKI:SUN:BJZO.0.2014-01-028.
97. Gipps, P. G. (1981). A behavioural car following model for computer simulation. Transportation Research B, 15,105-111.

98. Barcelo, J. (2002). "Microscopic Traffic Simulation: A tool for the Analysis and Assessment of ITS Systems." Highway Capacity Committee, Half Year Meeting, Lake Tahoe, July 2001.
99. Barcelo, J., and Casas, J. (2002). "Dynamic Network Simulation With AIMSUN." International Symposium on Transport Simulation, Yokohama.
100. Microsimulator and Mesosimulator in Aimsun 6 User's Manual. Transport Simulation Systems, 2009, 350 p.
101. Rakha, H., C.C. Pecker, and H.B.B. Cybis. Calibration procedure for the Gipps' car-following model, in 86th Transportation Research Board Annual Meeting. 2007. Washington, DC: Transportation Research Board.
102. Зырянов В.В. Моделирование дорожного движения: монография - Ростов н/Д: Рост. гос. строит, ун-т, 2015. 51-56 с.