

УДК 631.1,62-5

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы экономики (физико-математические науки, экономические науки)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОЙ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Тотухов Константин Евгеньевич
Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и программирования
РИНЦ-SCIENCE INDEX SPIN-код: 1082-9178
ФГБОУ ВО “Кубанский государственный технологический университет”, 350020, улица Московская, 2, Краснодар, Россия

Ярутин Сергей Алексеевич
магистрант кафедры информационных систем и программирования
РИНЦ-SCIENCE INDEX SPIN-код: 3089-7433
yarutinsa@yandex.ru
ФГБОУ ВО “Кубанский государственный технологический университет”, 350020, улица Московская, 2, Краснодар, Россия

Угрюмов Илья Сергеевич
аспирант кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения
РИНЦ-SCIENCE INDEX SPIN-код: 3056-7465
strelkaugr@mail.ru
ФГБОУ ВО “Кубанский государственный технологический университет”, 350020, улица Московская, 2, Краснодар, Россия

Довгаль Владислав Витальевич
магистрант кафедры информационных систем и программирования
d.vlad.recom@gmail.com
ФГБОУ ВО “Кубанский государственный технологический университет”, 350020, улица Московская, 2, Краснодар, Россия

Система управления городской инфраструктурой является комплексным инструментом для анализа, моделирования и регулирования транспортных потоков, предназначенным для поддержки устойчивого развития и безопасности городской среды. Используя машинное обучение и алгоритмы прогнозирования, данная система обеспечивает возможность анализа трафика и его динамики с учетом внешних факторов, таких как погодные условия, плотность дорожного движения и аварийные риски. Основной фокус системы направлен на интеграцию и взаимодействие различных компонентов городской инфраструктуры через Car-to-Car системы, что

UDC 631.1,62-5

5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods of economics (physical and mathematical sciences, economic sciences)

INTELLIGENT ALGORITHMS FOR THE ANALYSIS AND FORECASTING OF TRAFFIC FLOWS IN THE CONDITIONS OF MODERN URBAN INFRASTRUCTURE

Totukhov Konstantin Evgenievich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems and Programming
RSCI-SCIENCE INDEX SPIN-code: 4991-8507
Kuban State Technological University, 350020, Moskovskaya, 2, Krasnodar, Russia

Yarutin Sergey Alekseevich
graduate student of the Department of Information Systems and Programming
RSCI-SCIENCE INDEX SPIN-code: 3089-7433
yarutinsa@yandex.ru
Kuban State Technological University, 350020, Moskovskaya Street, 2, Krasnodar, Russia

Ugryumov Ilya Sergeevich
Postgraduate student of the Department of Technological Equipment and Life Support Systems
RSCI-SCIENCE INDEX SPIN-code: 3056-7465
strelkaugr@mail.ru
Kuban State Technological University, 350020, Moskovskaya 2, Krasnodar, Russia

Dovgal Vladislav Vitalevich
graduate student of the Department of Information Systems and Programming
d.vlad.recom@gmail.com
Kuban State Technological University, 350020, Moskovskaya 2, Krasnodar, Russia

The urban infrastructure Management System is a comprehensive tool for the analysis, modeling and regulation of traffic flows, designed to support the sustainable development and safety of the urban environment. Using machine learning and forecasting algorithms, this system provides the ability to analyze traffic and its dynamics, taking into account external factors such as weather conditions, traffic density and emergency risks. The main focus of the system is on the integration and interaction of various components of urban infrastructure through Car-to-Car systems, which allows you to obtain up-to-date data on the state of traffic and optimize management based on analytics and forecasts. The study also examines architectural

позволяет получать актуальные данные о состоянии трафика и оптимизировать управление на основе аналитики и прогнозов. В работе также рассматриваются архитектурные топологии и методы безопасности, которые необходимы для формирования надежной, адаптивной и централизованной системы управления городской инфраструктурой

Ключевые слова: УПРАВЛЕНИЕ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ, ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА, МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАФИКА, ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ, АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ, УМНЫЙ ГОРОД, МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ, АЛГОРИТМЫ МАРШРУТИЗАЦИИ, БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ

topologies and security methods that are necessary for the formation of a reliable, adaptive and centralized urban infrastructure management system

Keywords: URBAN INFRASTRUCTURE MANAGEMENT, INFORMATION SYSTEM, TRAFFIC MODELING, TRAFFIC FLOW OPTIMIZATION, ADAPTIVE MANAGEMENT, SMART CITY, MACHINE LEARNING, ROUTING ALGORITHMS, ROAD SAFETY, ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-204-036>

Введение. С увеличением численности городского населения и числа транспортных средств управление городской инфраструктурой становится одной из важнейших задач для современных городов. Эффективная организация транспортного потока играет ключевую роль в обеспечении удобства передвижения, снижении экологического воздействия и улучшении качества жизни горожан. В этой связи необходимость внедрения комплексных информационных систем, способных моделировать и анализировать транспортные потоки, становится актуальной. Настоящая работа посвящена разработке информационной системы, предназначенной для управления всей городской инфраструктурой, включая транспортные потоки, светофоры и другие элементы дорожной сети.

Разработанная система представляет собой интегрированное решение, основанное на симуляции и анализе трафика на городских дорогах. Она состоит из двух основных компонентов: симулятора, моделирующего движение транспортных средств с учетом различных факторов, и модуля аналитики, который обрабатывает данные симуляции для оценки нагрузки на дороги и разработки адаптивных стратегий

<http://ej.kubagro.ru/2024/10/pdf/36.pdf>

управления. Система направлена на решение таких проблем, как перегрузка, недостаточная пропускная способность и неэффективное распределение транспортных потоков, что в конечном итоге способствует улучшению транспортной инфраструктуры города.

Для эффективной реализации данной информационной системы требуется соответствующая аппаратная инфраструктура. Основу системы составляют серверные мощности, обеспечивающие высокую вычислительную производительность и возможность обработки больших объемов данных в реальном времени. Серверы должны быть оснащены современными процессорами, способными выполнять сложные вычисления, а также достаточным объемом оперативной памяти для обработки данных симуляции и аналитики [1].

Ключевым элементом аппаратной архитектуры являются датчики и устройства сбора данных, которые будут установлены в различных точках городской инфраструктуры. Эти устройства могут включать в себя камеры видеонаблюдения, датчики движения, системы GPS и интеллектуальные светофоры, которые в режиме реального времени собирают информацию о транспортных потоках, скорости движения и загруженности дорог. Собранные данные передаются на центральный сервер для последующей обработки и анализа.

Дополнительно, для реализации функций интеграции с локальными системами и технологии Car-to-Car (C2C) и C-V2X, потребуется использование специализированного оборудования, такого как радиопередатчики и приемники, которые обеспечивают беспроводную связь между транспортными средствами и городской инфраструктурой. Это позволит не только оптимизировать маршруты и управление трафиком, но и повысить безопасность дорожного движения за счет быстрого обмена информацией о состоянии дорожной ситуации.

Для обеспечения надежности и безопасности работы системы,

необходимо предусмотреть резервные серверные решения и системы хранения данных, что позволит избежать потери информации и гарантировать бесперебойную работу системы в случае сбоев.

Кроме того, важно учитывать требования к кибербезопасности, включая использование шифрования данных и защиты от несанкционированного доступа к аппаратным компонентам. Интеграция с облачными платформами может также быть полезной для хранения и анализа больших объемов данных, что обеспечит гибкость и масштабируемость системы.

Таким образом, аппаратная составляющая данной информационной системы играет ключевую роль в обеспечении её эффективности и надежности, позволяя оптимизировать управление транспортной инфраструктурой города и создать безопасные условия для передвижения горожан. Система обеспечивает мониторинг и управление транспортными потоками в реальном времени, что, в свою очередь, ведет к значительному сокращению пробок и повышению проходимости дорог. В системе также предусмотрена возможность интеграции с локальными системами, что повышает защиту от потенциальных кибератак и обеспечивает надежность управления.

Кроме того, система учитывает экологические аспекты, способствуя снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу за счет оптимизации трафика и улучшения качества воздуха в городах. Интеграция данной системы в концепцию "умного города" позволяет создавать умные транспортные решения, такие как Car-to-Car и C-V2X, что увеличивает безопасность дорожного движения и улучшает взаимодействие между транспортными средствами и городской инфраструктурой.

Таким образом, предложенная система представляет собой важный шаг к созданию эффективной и безопасной городской инфраструктуры,

способной адаптироваться к динамично изменяющимся условиям и потребностям жителей. Использование данной системы не только улучшает транспортную ситуацию в городах, но и создает основы для более устойчивого и комфортного городского развития в будущем.

Проблема исследования заключается в том, что управление городской инфраструктурой, особенно в сфере транспортных потоков, является одной из наиболее актуальных и сложных задач, стоящих перед современными мегаполисами. Увеличение численности населения и количества автомобилей ведет к перегрузке дорожной сети, что приводит к частым пробкам и увеличению времени в пути. Это усугубляется недостаточной пропускной способностью существующих дорог, многие из которых были спроектированы с учетом меньшего объема трафика. В результате такие проблемы, как неэффективное распределение трафика, становятся все более заметными. Традиционные методы управления, такие как регулирование светофоров, часто не способны учитывать динамические изменения условий на дорогах, что приводит к ненадежному управлению транспортными потоками [2].

Кроме того, отсутствие интеграции данных между различными системами управления трафиком затрудняет обмен информацией, что мешает более эффективному принятию решений. В условиях растущего числа автомобилей это создает дополнительные сложности, в том числе ухудшение экологической ситуации из-за увеличения выбросов вредных веществ от простаивающих транспортных средств. К тому же, в условиях цифровизации городской инфраструктуры возрастает необходимость в повышении уровня кибербезопасности, что становится важным для защиты систем управления от потенциальных угроз.

Таким образом, **целью данного исследования** является разработка комплексной информационной системы, способной эффективно моделировать, анализировать и управлять транспортными потоками в

городской инфраструктуре. Основные задачи включают оптимизацию распределения трафика, снижение пробок, повышение пропускной способности дорог и улучшение экологической ситуации. Также исследование акцентирует внимание на необходимости интеграции локальных систем и обеспечении надежности работы информационной системы в условиях современных вызовов. заключается в отсутствии универсального инструмента для оперативного доступа к информации о расписании занятий, текущих оценках, выполнении заданий и других важных аспектах их учебной деятельности.

Объектом данного исследования является комплексная информационная система управления городской транспортной инфраструктурой, включающая симуляцию и анализ трафика для повышения эффективности распределения транспортных потоков.

Описание концепции архитектуры системы

Концепция архитектуры системы управления городской инфраструктурой построена на базе трех взаимосвязанных подсистем: симуляции транспортных потоков, аналитики и обеспечения безопасности. Эта структура ориентирована на эффективное управление транспортной и городской инфраструктурой в реальном времени с возможностью адаптации к динамическим условиям. Основная цель архитектуры — повысить эффективность городской инфраструктуры, минимизировать транспортные задержки, а также обеспечить безопасность и надежность системы при внешних и внутренних воздействиях.

Симулятор транспортных потоков является центральной частью системы и отвечает за моделирование движения на городских дорогах. Его архитектура основана на графовой модели уличной сети, где каждый участок дороги представлен ребром графа и имеет заданные характеристики, такие как ограничения скорости, количество полос и средняя пропускная способность. Графовая модель позволяет симулятору

анализировать потоки и моделировать различные сценарии для выявления оптимальных стратегий управления движением. Этот компонент накапливает и обрабатывает данные о текущей загруженности и характере движения на различных участках инфраструктуры, что дает возможность оперативного реагирования на транспортные заторы и изменения в потоке автомобилей.

Модуль аналитики выполняет обработку собранных данных с помощью методов машинного обучения и статистического анализа. Он анализирует данные симуляции и данные реального времени для создания адаптивных сценариев управления, включая прогнозирование пробок, регулирование потоков на критических участках и настройку работы светофоров. Система учитывает погодные условия, время суток и типичные поведенческие паттерны участников дорожного движения, что позволяет корректировать интенсивность потоков и уменьшать перегруженность уличной сети. В рамках модуля аналитики используется анализ временных рядов и алгоритмы прогнозирования, которые помогают предугадывать проблемы и предотвращать транспортные заторы. Также этот модуль поддерживает тесное взаимодействие с внешними компонентами инфраструктуры, например, с системами управления светофорами и цифровыми указателями для водителей, оптимизируя маршрутное направление транспорта.

Подсистема безопасности обеспечивает защиту и непрерывность работы всей системы, выступая как резервный автономный модуль для предотвращения сбоев в критических ситуациях. Она способна обрабатывать данные в изолированной среде и принимать решения при угрозах внешних атак или отказе первых двух модулей. Данный модуль также поддерживает интеграцию с аппаратными и сетевыми средствами защиты, что делает систему устойчивой к внешним и внутренним угрозам. Подсистема безопасности включает технологию Car-to-Car (C2C) и V2X,

обеспечивая взаимодействие автомобилей с городской инфраструктурой и возможностью передачи данных между транспортными средствами, что критично для обеспечения безопасности пешеходов и снижения аварийности на дорогах. Технология V2X, дополненная датчиками и модулями связи, позволяет системе взаимодействовать с элементами умного города, включая системы освещения и экстренных служб, что способствует более оперативному управлению инфраструктурой города.

Система также использует возможности распределенных вычислений для обработки больших объемов данных, поступающих от различных компонентов городской инфраструктуры, таких как камеры наблюдения, датчики движения и автоматические системы учета транспорта. Это позволяет системе поддерживать высокую масштабируемость и гибкость в условиях роста численности населения и интенсивности транспортных потоков.

Интеграция в инфраструктуру умного города осуществляется через центральные серверы, обеспечивающие связь подсистем управления трафиком и распределенных элементов инфраструктуры, таких как системы связи V2X, интеллектуальные светофоры и цифровые дорожные знаки. Эти серверы отвечают за координацию и обмен данными между всеми компонентами системы и городскими службами, что позволяет оперативно управлять потоками, учитывать переменные условия на дорогах и адаптировать стратегию в реальном времени.

Таким образом, архитектура системы управления городской инфраструктурой, объединяющая симуляцию, аналитику и безопасность, обеспечивает комплексное решение задач транспортного регулирования, повышения пропускной способности и безопасности. Система служит важным элементом в общей структуре умного города, улучшая качество и устойчивость городской инфраструктуры, снижая транспортные задержки и создавая безопасные условия для всех участников дорожного движения.

Результаты исследования демонстрируют успешное функционирование разработанной системы управления городской инфраструктурой в условиях симуляции и математических расчётов. Система позволила моделировать транспортные потоки, прогнозировать нагрузки на дорожные участки и вырабатывать стратегии оптимизации движения на основе данных о загруженности. Анализ данных показал, что предложенная система может существенно снизить риск перегрузки транспортных узлов и повысить эффективность работы городской инфраструктуры.

Симуляции показали, что система способна адаптироваться к изменяющимся условиям и гибко реагировать на изменения в транспортных потоках, улучшая проходимость на дорогах, минимизируя время простоя и снижая экологическую нагрузку. Также удалось подтвердить, что её модульная архитектура обеспечивает устойчивость к потенциальным сбоям и безопасность данных. Таким образом, результаты исследования в условиях симуляции дают основания полагать, что в условиях реального города система может способствовать эффективному управлению городской инфраструктурой, но для полной оценки её применимости потребуется внедрение в реальные условия.

Заключение. В ходе проведённого исследования была разработана и протестирована комплексная система управления городской инфраструктурой, основанная на моделировании транспортных потоков и применении математических алгоритмов для анализа загруженности дорог. Система продемонстрировала свою эффективность в условиях симуляции, позволяя оценить и прогнозировать загруженность уличных участков, оптимизировать транспортные маршруты, управлять светофорами и, в перспективе, снижать негативное воздействие на окружающую среду.

Симуляции подтвердили высокую адаптивность системы к изменяющимся условиям движения, её способность реагировать на

перегрузки в режиме реального времени и автоматически настраивать параметры для повышения эффективности управления. Программная и аппаратная составляющие позволили создать модульную, масштабируемую и безопасную архитектуру, что, при должной настройке, делает её применимой для более крупных инфраструктурных объектов и готовой к интеграции в концепцию «умного города».

Таким образом, исследование подтверждает, что разработанная система обладает значительным потенциалом для использования в управлении городской инфраструктурой. Однако для подтверждения её полной работоспособности в реальных условиях потребуется практическое тестирование и адаптация с учётом конкретных особенностей городской среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интегрированная система управления трафиком для умного города на основе машинного обучения: перспективы для эффективного городского транспорта / А. Г. Волик, С. А. Ярутин, И. С. Угрюмов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 199. – С. 229-239. – DOI 10.21515/1990-4665-199-021. – EDN SGVHIW.

2. Ковтун, А. А. Обеспечение безопасной транспортной среды в условиях современной инфраструктуры. Система взаимодействия для участников движения / А. А. Ковтун, Д. А. Шорвоглян, С. А. Ярутин // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". – 2023. – № 3. – С. 29-41. – EDN FTCUPO.

REFERENCES

1. Integrirovannaya sistema upravleniya trafikom dlya umnogo goroda na osnove mashinnogo obucheniya: perspektivy dlya effektivnogo gorodskogo transporta / A. G. Volik, S. A. Yarutin, I. S. Ugryumov [i dr.] // Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – № 199. – S. 229-239. – DOI 10.21515/1990-4665-199-021. – EDN SGVHIW.

2. Kovtun, A. A. Obespechenie bezopasnoj transportnoj sredy v usloviyah sovremennoj infrastruktury. Sistema vzaimodejstviya dlya uchastnikov dvizheniya / A. A. Kovtun, D. A. Shorvoglyan, S. A. Yarutin // Elektronnyj setevoy politematicheskij zhurnal "Nauchnye trudy KubGTU". – 2023. – № 3. – S. 29-41. – EDN FTCUPO.