

11. Noskov V.P., Rubtsov I.V., Romanov A.Yu. Formirovanie ob"edinennoy modeli vneshney sredy na osnove informatsii videokamery i dal'nomera [Formation of a combined model of the external environment based on information from a video camera and a rangefinder], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], 2007, No. 8, pp. 2-5.
12. Noskov V.P., Kiselev I.O. Ispol'zovanie tekstury lineynykh ob"ektov dlya postroeniya modeli vneshney sredy i navigatsii [Using the texture of linear objects to build a model of the external environment and navigation], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], 2019, No. 8, pp. 490-497.
13. David L. Object recognition from local scale-invariant features, *Proceedings of the International Conference on Computer Vision*, 1999, Vol. 2, pp. 1150.
14. Bay H., Tuytelaars T., Gool L.V. SURF: Speeded Up Robust Features, *Computer Vision and Image Understanding*, 2008. Available at: <http://www.vision.ee.ethz.ch/~surf/eccv06.pdf>.
15. Ke Y., Sukthankar R. PCA-SIFT: A More Distinctive Representation for Local Image Descriptors. Available at: <http://www.cs.cmu.edu/~rahuls/pub/cvpr2004-keypoint-rahuls.pdf>.
16. Noskov V.P., Kur'yanov A.N. Ispol'zovanie kompleksirovannykh deskriptorov v reshenii SLAM-zadachi [Using complex descriptors in solving the SLAM problem], *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2022, No. 1, pp. 268-278.
17. Noskov V.P., Kur'yanov A.N., Ivanushkin V.I. Analiz sredstv video-navigatsii metodami matematicheskogo modelirovaniya [Analysis of video navigation tools by mathematical modeling methods], *Tr. 34-y Mezhduнародnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Ekstremal'naya robototekhnika», 23-24 noyabrya 2023 g.* [Proceedings of the 34th International Scientific and Technical Conference "Extreme Robotics", November 23-24, 2023]. Saint Petersburg: Izd-vo: TSNII RTK, 2023, pp. 36-46.
18. Available at: <https://classic.gazebosim.org/>.
19. Available at: <https://docs.ros.org/en/humble/index.html>.
20. Pascal Goldschmid, Amir Ahmad. Integrated Multi-Simulation Environments for Aerial Robotics Research. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.10218>.

Носков Владимир Петрович – МГТУ им. Н.Э. Баумана; e-mail: noskov_mstu@mail.ru; г. Москва, Россия; тел.: +79166766057; к.т.н.; зав. сектором НИИСМ.

Баричев Юрий Сергеевич – ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»; e-mail: ybarichev@yandex.ru; г. Москва, Россия; тел.: +79191396529; инженер-исследователь научно-исследовательской лаборатории.

Гойдин Олег Петрович – ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»; e-mail: crer@vniia.ru; г. Москва, Россия; руководитель центра робототехники и аварийного реагирования.

Курьянов Алексей Николаевич – ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»; e-mail: tigr-kur@mail.ru; г. Москва, Россия; тел.: +79258248138; инженер-исследователь научно-исследовательской лаборатории.

Noskov Vladimir Petrovich – Bauman Moscow State Technical University; e-mail: noskov_mstu@mail.ru; Moscow, Russia; phone: +79166766057; cand. of eng. sc.; NIISM sector head.

Barichev Yury Sergeevich – FSUE "VNIIA"; e-mail: ybarichev@yandex.ru; Moscow, Russia; phone: +79191396529; research-engineer of the research laboratory.

Goydin Oleg Petrovich – FSUE "VNIIA"; e-mail: crer@vniia.ru; Moscow, Russia; head of the Center for Robotics and Emergency Response.

Kuryanov Alexsei Nikolaevich – FSUE "VNIIA"; e-mail: tigr-kur@mail.ru; Moscow, Russia; phone: +79258248138; research-engineer of the research laboratory.

УДК 004.81: 004.75

DOI 10.18522/2311-3103-2025-2-108-117

И.А. Пшенокова, К.Ч. Бжихатлов, М.А. Канокова

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРКОВОЧНЫХ МЕСТ В ИНФРАСТРУКТУРЕ ГОРОДА

В условиях растущего числа автомобилей и ограниченного пространства многие города осознают важность внедрения интеллектуальных парковочных систем для улучшения городской мобильности и удобства для водителей. Уровень внедрения интеллектуальных парковок на основе различных технологических решений растет, однако для достижения максимальной эффективно-

сти необходимо продолжать развивать технологии, интегрировать их с другими системами и учитывать потребности пользователей. Цель исследования – разработать мультиагентную интеллектуальную систему контроля и управления бронированием парковочных мест в сети парковок города. Разработана архитектура мультиагентной интеллектуальной системы управления парковочными местами, которая обеспечивает автоматическое управление доступом к парковочным местам с учетом пожеланий владельцев парковок, заказов водителей, дорожной ситуации в городе и требований безопасности. Основным элементом разрабатываемой системы является парковка, которая представлена набором парковочных мест, оборудованных автоматизированными системами управления парковочным местом (парковщики), системой связи и средствами сбора данных (камера наблюдения и метеостанции). Управление парковочными местами и парковщиками осуществляется интеллектуальной системой управления на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур. Разработан прототип программно-аппаратного комплекса мультиагентной интеллектуальной системы управления парковочными местами в виде клиент-серверной архитектуры. Сервер отвечает за сбор, обработку, хранение данных и управление автоматизированными парковщиками. К серверу подключается два вида клиентов – мобильное приложение администратора и водителя. Администратор имеет возможность управления парковкой (установка фиксированных цен или использование рекомендаций сервера, бронирование парковочных мест для сотрудников) и просмотра статистики (текущая загрузка, статистика по парковке, данные о принятых оплатах, прогноз работы парковки, рекомендации). У водителя реализована возможность просмотра состояния парковок в интересующей области (количество свободных мест, время ожидания свободного места, стоимость, рекомендации по наиболее удобной парковке) и бронирования парковочного места с возможностью онлайн оплаты.

Умный город; интеллектуальная парковка; распределение транспортных потоков; мультиагентные системы; нейрокогнитивные алгоритмы.

I.A. Pshenokova, K.Ch. Brzhikhatlov, M.A. Kanokov

MULTI-AGENT INTELLIGENT SYSTEM FOR CONTROL OF PARKING SPACES IN CITY INFRASTRUCTURE

With the growing number of cars and limited space, many cities are realizing the importance of implementing intelligent parking systems to improve urban mobility and convenience for drivers. The level of implementation of intelligent parking based on various technological solutions is growing, but to achieve maximum efficiency, it is necessary to continue to develop technologies, integrate them with other systems and take into account the needs of users. The purpose of the study is to develop a multi-agent intelligent system for monitoring and managing parking space reservations in the city parking network. The architecture of a multi-agent intelligent parking management system has been developed, which provides automatic access control to parking spaces taking into account the wishes of parking lot owners, driver orders, the traffic situation in the city and safety requirements. The main element of the developed system is parking, which is represented by a set of parking spaces equipped with automated parking space management systems (parking attendants), a communication system and data collection tools (surveillance camera and weather stations). Parking spaces and parking attendants are managed by an intelligent control system based on multi-agent neurocognitive architectures. A prototype of a hardware and software complex of a multi-agent intelligent parking space management system has been developed in the form of a client-server architecture. The server is responsible for collecting, processing, storing data and managing automated parking attendants. Two types of clients are connected to the server - a mobile application of the administrator and the driver. The administrator has the ability to manage parking (set fixed prices or use server recommendations, book parking spaces for employees) and view statistics (current load, parking statistics, data on accepted payments, parking work forecast, recommendations). The driver has the ability to view the status of parking in the area of interest (number of free spaces, waiting time for a free space, cost, recommendations for the most convenient parking) and book a parking space with the ability to pay online.

Smart city; intelligent parking; distribution of traffic flows; multi-agent systems; neurocognitive algorithms.

Введение. В условиях растущего числа автомобилей и ограниченного пространства в городской инфраструктуре, существующие неуправляемые автостоянки затрудняют размещение транспортных средств надлежащим и удобным способом, поэтому все более актуальными становятся интеллектуальные парковочные системы. Внедрение «интеллектуальных парковок» способствует увеличению мобильности в черте города, снижению вы-

бросов углекислого газа и других загрязняющих веществ в атмосферу, оптимизации использования пространства и комплексному подходу к управлению городской инфраструктурой. Уровень внедрения интеллектуальных парковок в современных городах варьируется в зависимости от региона, инфраструктуры и готовности местных властей к инновациям.

В настоящее время разработано и внедрено множество технологических решений для интеллектуальных парковочных систем. Интеллектуальные парковочные системы должны обеспечивать динамическое распределение и бронирование парковочных мест, а также мониторинг парковочных мест и местонахождения любого автомобиля в любое время.

Так, например, для мониторинга уровня заполняемости больших открытых парковок разработана не очень дорогая и простая в развертывании система, которая только контролирует въезд или выезд транспортных средств с парковочной зоны [1].

Системы, которые используются на крытых парковочных местах являются более сложными и дорогими, чем системы контроля въезда и выезда, так как требуют оснащения каждого парковочного места датчиками и более сложной коммуникационной инфраструктуры. Эти системы предоставляют пользователям более полезную и подробную информацию и могут быть объединены со службами позиционирования и наведения, чтобы помочь точно прогнозировать и определять занятость места в режиме реального времени [2].

В статье [3] рассматривается проектирование и разработка интеллектуальной системы управления парковочными местами в режиме реального времени, в которой парковочные места для сотрудников и посетителей организации определяются интеллектуальным мобильным приложением. Для мониторинга и управления парковкой использовались камеры, датчики и программное обеспечение для машинного обучения Интернета вещей (IoT), включая OpenCV версии 4.5.5 и TensorFlow версии 2.14.0.

В работе [4] для выбора подходящего парковочного места использовалась искусственная нейронная сеть. Разработанная авторами парковочная система, анализируя поведение сотрудников подсказывает подходящее время и место парковки. Однако в ней отсутствует система управления в реальном времени.

В работах [5–7] представлены мобильные приложения для водителей для обнаружения подходящих парковочных мест в заданном квадрате.

В [8] представлена система, которая позволяет уменьшить заторы на открытых парковочных местах за счет помощи водителям в аккуратной парковке своих автомобилей. Для сбора и обработки данных авторы используют архитектуру сверточной нейронной сети и длительной кратковременной памяти (CNN-LSTM), а также комплексные панорамные изображения на 360 градусов, ультразвуковые измерения и измерения расстояния между датчиками.

А в работе [9] представлена модель автоматического определения занятости парковки. Данные поступают с 360-градусной камеры с высоты птичьего полета, а также ультразвуковых датчиков для точного определения присутствия соседних транспортных средств.

В [10] проведен анализ интеллектуальных систем управления парковками, которые используют передовые технологии для оптимизации использования парковочных мест. Автором рассматриваются различные подходы к управлению парковочными пространствами в многоуровневых парковках, включая применение искусственного интеллекта, машинного обучения и больших данных для анализа трафика и предсказания потребностей в парковке. В статье [11] рассматриваются различные интеллектуальные службы парковки, используемые для управления парковками.

В работах [12, 13] представлена система, которая использует методы машинного обучения для прогнозирования поведения водителей при парковке по результатам обработки ранее собранных данных и статистики дорожного движения в режиме реального времени.

В [14–16] представлена интеллектуальная умная система парковки с использованием сверточной нейронной сети. Для определения доступных парковочных мест по изображениям с камер парковки используется компьютерное зрение и обработка изображений.

Уровень внедрения интеллектуальных парковок продолжает расти, и многие города осознают важность таких систем для улучшения городской мобильности и удобства для водителей. Однако для достижения максимальной эффективности необходимо продолжать развивать технологии, интегрировать их с другими системами и учитывать потребности пользователей.

Цель исследования – разработать мультиагентную интеллектуальную систему контроля и управления бронированием парковочных мест в сети парковок города.

Концепция мультиагентной интеллектуальной системы управления парковочными местами. Разрабатываемая система предполагает оптимизацию нагрузки на транспортную сеть города и максимизацию оборачиваемости парковочных мест за счет использования интеллектуальной системы управления бронированием парковочных мест. Для этого разработана мультиагентная система, состоящая из набора устройств для управления парковочным местом, объединенных в сеть парковок города. Подобная система должна обеспечивать автоматическое управление доступом к парковочным местам с учетом пожеланий владельцев парковок, заказов водителей, дорожной ситуации в городе и требований безопасности. Архитектура системы приведена на рис. 1.

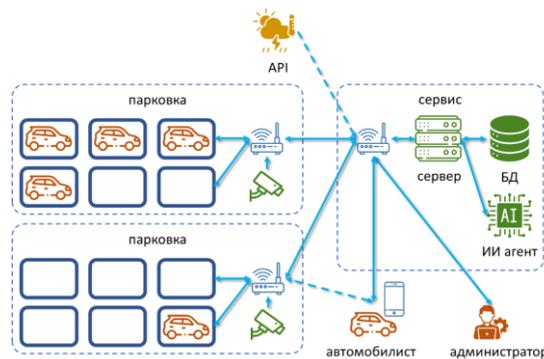


Рис. 1. Архитектура мультиагентной интеллектуальной системы управления парковочными местами

Основным элементов разрабатываемой системы является парковка, которая представлена набором парковочных мест, оборудованных автоматизированными системами управления парковочным местом. Кроме того, парковка имеет собственную систему связи (в качестве которой может выступать WiFi или LoRaWan роутер) и дополнительные средства сбора данных (например, камеру наблюдения). Все данные с парковок города собираются на сервере мультиагентной интеллектуальной системы управления парковочными местами, который состоит из системы связи, непосредственно сервера с базой данных и интеллектуальной системы принятия решений. Сервер отвечает за сбор, обработку, хранение данных и управление автоматизированными парковщиками. Кроме данных с парковкой, сервер собирает информацию из внешних источников, например данные о погоде из подключенных к системе метеостанций [17]. Наличие всех этих данных, а также информации о бронировании парковочных мест позволит интеллектуальной системе принятия решений прогнозировать загрузку парковок и подбирать цены и ограничения в сроках бронирования так, чтобы максимально равномерно распределить автомобили по парковкам и снизить нагрузку на транспортную сеть города, при этом максимизировав оборачиваемость парковки для владельца.

Взаимодействие водителя с системой осуществляется через разработанное мобильное приложение, которое позволяет отправлять заказы и данные о расположении автомобиля. Соответственно, при приближении транспортного средства к забронированной парковке она освобождает место и начинает отсчет времени (для платных или ограниченных парковок). Кроме водителей, с системой взаимодействуют владельцы парковок и сотрудники транспортных служб города.

Аппаратно-программная реализация системы управления парковками. Для обеспечения управления парковочным местом разработано автоматизированное устройство (парковщик), которое должно не только блокировать и освобождать парковочное место, но и следить за наличием автомобиля над ним, а также отслеживать свое положение и целостность. Схема устройства приведена на рис. 2.



Рис. 2. Схема устройства для управления парковочными местами

Устройство представляет собой плоский прямоугольный блок, устанавливаемый непосредственно на парковочное место. Для блокировки парковочного места устройство раскрывается и ставит шит, препятствующий наезду автомобиля на парковочное место. Управление парковщика обеспечивается микроконтроллером, который собирает данные с сенсорной сети и управляет светозвуковой индикацией и приводом шлагбаума. Сенсорная сеть состоит из датчика наличия автомобиля над парковщиком (ультразвуковой или инфракрасный датчик расстояния), датчиков холла, отслеживающих положение шита для блокировки места, датчика расположения (GPS или ГЛОНАСС) и инерциального датчика (10 осевой IMU сенсор), отвечающего за попытку перемещения или взлома робота. За обеспечение энергией отвечает аккумулятор с системой контроля уровня заряда. Передача данных обеспечивается системой связи на основе WiFi, LoRaWan или 3G/LTE сетей. Внешний вид устройства в сложенном и раскрытом состоянии приведен на рис. 3. Размеры и материалы парковщика позволяют автомобилю наезжать на него без опасности повредить механическую и электронную подсистемы. Стоит отметить, что прототип испытывался в КБНЦ РАН в течении года при всех погодных условиях.

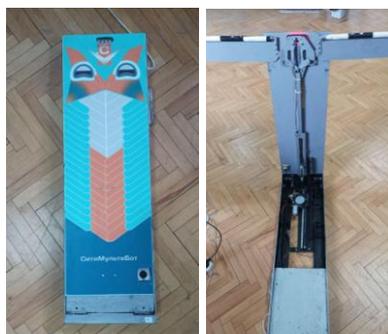


Рис. 3. Внешний вид устройства для управления парковочными местами

Управление системой обеспечивается на сервере с системой принятия решений. Каждый парковщик отвечает за контроль парковочного места и выполнения команд с сервера. Кроме того, на сервер попадают данные из дополнительных источников (камеры на парковках или метеостанции в городе). Сервер, в свою очередь отвечает за сбор заказов пользователей (бронирование водителем или администратором парковки) и управление парковщиками (блокировка, разблокировка, индикация состояния). За счет использования интеллектуальных систем обработки данных и собранной статистике использования парковочных мест на сервере можно строить прогнозы загруженности парковки в зависимости от времени суток, дня недели, погоды и т.д. Эти данные в свою очередь позволяют строить модели распределения автомобилей по парковкам и подбирать оптималь-

ные условия распределения парковочных мест с учетом задач минимизации нагрузки на транспортную сеть и максимизации оборачиваемости парковки (для платных парковок). То есть, система принятия решений должна подбирать рекомендации по оптимальному маршруту для водителя и ценовую политику для владельца парковки.

К серверу подключается два вида клиентов – приложение администратора и водителя. Администратор имеет возможность управления парковкой (установка фиксированных цен или использование рекомендаций сервера, бронирование парковочных мест для сотрудников) и просмотра статистики (текущая загрузка, статистика по парковке, данные о принятых оплатах, прогноз работы парковки, рекомендации). У водителя реализована возможность просмотра состояния парковок в интересующей области (количество свободных мест, время ожидания свободного места, стоимость, рекомендации по наиболее удобной парковке) и бронирования парковочного места с возможностью онлайн оплаты. Уже при приближении к парковке приложение определяет координаты автомобиля и отправляет команду на разблокировку парковщика, а также ведет учет времени и стоимости парковки. Архитектура взаимодействия программного обеспечения в интеллектуальной системе управления парковками показана на рис. 4.

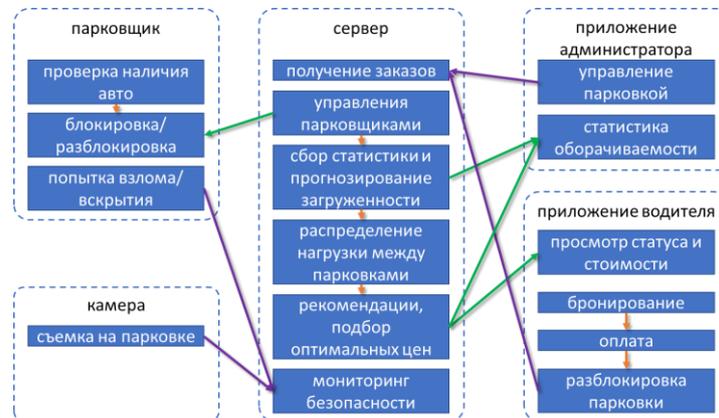


Рис. 4. Архитектура взаимодействия программного обеспечения в системе управления парковками

Подобная реализация системы позволяет достаточно легко масштабировать систему сбора данных и управления парковками. Например, объем передаваемых на сервер данных можно определить как:

$$I_{sens} = \sum_{i=0}^m (P_i \cdot k_r + k_p) + n \cdot k_a + k_s,$$

где I_{sens} – объем передаваемых данных, m – количество парковой, n – количество транспортных средств, P_i – количество парковочных мест на i -ой парковке, k_r – объем данных с одного парковочного места, k_p – объем данных с парковки (за исключением парковочных мет, то есть данные с камеры и т.д.), k_a – объем данных из приложения водителя, k_s – объем данных с общих для города сенсоров (метеостанции и т.д.). То есть нагрузка на сервер и систему связи растет линейно с ростом размера города (количестве транспортных средств и доступных парковочных мет).

На текущем этапе ведется тестирование прототипа программно-аппаратного комплекса мультиагентной интеллектуальной системы управления парковочными местами. Серверная часть программы написана на языке программирования python с использованием фреймворка flask. Связь с парковщиками и приложениями автомобилиста и администратора осуществляется по протоколу TCP/IP за счет обмена json сообщениями. Программа для автомобилистов реализована в виде приложения для смартфонов на языке программирования dart. Кроме того, на сервере отдельно развернута программа моделирования мульт

тиагентных нейрокогнитивных архитектур [18], отвечающая за реализацию интеллектуальной системы принятия решений. Программа написана на языке программирования C++ и использует протокол *webSockets* для подключения к основной части сервиса.

Нейрокогнитивная архитектура управления распределенной сетью парковок.

Интеллектуальная система принятия решений для управления распределенной сетью парковок реализована на основе мультиагентных нейрокогнитивных алгоритмов [19]. Использование подобного подхода основано на имитационное моделирование процессов обмена информацией между нейронами головного мозга. При этом каждый нейрон рассматривается как рациональный агент, имеющий собственную целевую функцию максимизации энергии и собственную базу знаний, позволяющую выстраивать свое взаимодействие с другими нейронами. Группы нейронов могут быть объединены в функциональные системы или интеллектуальных агентов, которые также могут обмениваться информацией и энергией между собой.

В задаче управления парковкой подобная система обеспечивает сбор данных, поступающих на агенты-сенсоры. Каждый подобный сенсор отвечает за какой-либо источник информации во внешнем мире. Полученные с сенсоров данные позволяют создавать новые нейроны, отвечающие за репрезентацию обнаруженных в реальном мире объектов, их свойств и действий. Например, информация о факте бронирования парковочного места позволит создать агента-событие. При этом подобный агент связан с множеством других агентов различных типов (объекты, действия, свойства, числительные и т.д.), что позволяет строить онтологическое описание факта парковки. Пример подобного мультиагентного факта приведен на рис. 5.

Событие «автомобиль занял место» связано с соответствующими агентами-нейронами за счет заключения мультиагентных договоров, которые несут информацию не только о контрагенте, но и ключевом слове срабатывания договора (на какой вопрос может ответить агент) и корреляции (количестве совместных срабатываний агентов). Это позволит использовать подобные мультиагентные факты для дальнейшего построения причинно-следственных связей, моделирования развития ситуации и подбора оптимального для агентов пути поведения [20, 21]. Таким образом, данные, собранные с парковки и приложений, вносятся в систему для создания отдельных интеллектуальных агентов, моделирующих целенаправленное поведение водителей и их взаимодействие с парковками города в целом. Структура модели представлена на рис. 6.

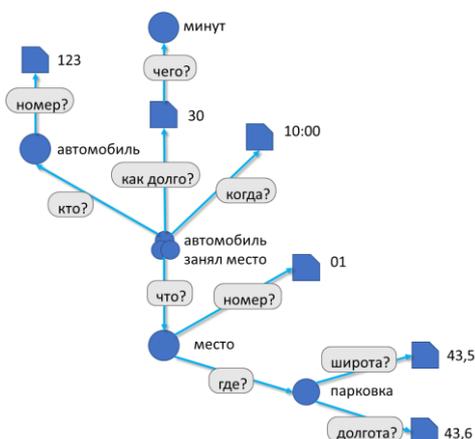


Рис. 5. Пример мультиагентного факта бронирования места



Рис. 6. Модель взаимодействия элементов системы «водитель – парковка – город»

На данном этапе ведется работа по сбору данных в мультиагентной нейрокогнитивной архитектуре, что позволит построить адекватные модели поведения водителей и подобрать оптимальные стратегии ценообразования для парковок. Скриншот трехмерной визуализации модели поведения водителей с окна редактора мультиагентных нейрокогнитивных архитектур приведен на рис. 7.

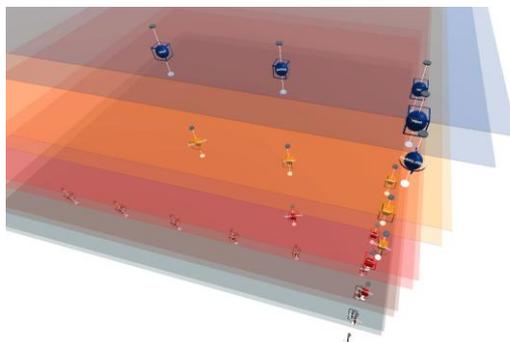


Рис. 7. Скриншот трехмерной визуализации разработанной мультиагентной архитектуры

Полученные мультиагентные модели в дальнейшем позволят обеспечить максимально точное прогнозирование поведения водителей для разных случаев распределения цен и свободных мест на парковках. Такое прогнозирование позволит автоматически подбирать оптимальную, как для автовладельцев, так и для владельцев парковок стратегию ценообразования и условий бронирования с учетом нагрузки на транспортную сеть города.

Заключение. В работе представлена архитектура мультиагентной интеллектуальной системы управления парковочными местами, которая обеспечивает автоматическое управление доступа к парковочным местам с учетом пожеланий владельцев парковок, заказов водителей, дорожной ситуации в городе и требований безопасности в режиме реального времени. Интеллектуальная парковочная система оборудована автоматизированными системами управления парковочным местом (парковщики), системой связи и средствами сбора данных (камера наблюдения и метеостанции). Управление парковочными местами и парковщиками осуществляется интеллектуальной системой управления на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур.

Разработан прототип программно-аппаратного комплекса мультиагентной интеллектуальной системы управления парковочными местами в виде клиент-серверной архитектуры. Сервер отвечает за сбор, обработку, хранение данных и управление автоматизированными парковщиками. К серверу подключается два вида клиентов – мобильное приложение администратора и водителя, которое позволяет администратору управлять парковкой и вести мониторинг, а водителю бронировать свободные парковочные места в заданном квадрате в режиме реального времени и с возможностью онлайн оплаты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vera-Gómez J.A. et al. An intelligent parking management system for urban areas // Sensors. – 2016. – Vol. 16, No. 6. – P. 931. – <https://doi.org/10.3390/s16060931>.
2. Ahad A., Khan Z.R., Ahmad S.A. Intelligent parking system // World Journal of Engineering and Technology. – 2016. – Vol. 4, No. 2. – P. 160-167.
3. Elfaki A.O. et al. A smart real-time parking control and monitoring system // Sensors. – 2023. – Vol. 23, No. 24. – P. 9741. – <https://doi.org/10.3390/s23249741>.
4. Shin J.H., Jun H.B., Kim J.G. Dynamic control of intelligent parking guidance using neural network predictive control // Computers & Industrial Engineering. – 2018. – Vol. 120. – P. 15-30.
5. Liu J., Wu J., Sun L. Control method of urban intelligent parking guidance system based on Internet of Things // Computer Communications. – 2020. – Vol. 153. – P. 279-285.
6. Canli H., Toklu S. Deep learning-based mobile application design for smart parking // IEEE Access. – 2021. – Vol. 9. – P. 61171-61183.

7. Aditya A. et al. An IoT assisted intelligent parking system (IPS) for smart cities // *Procedia Computer Science*. – 2023. – Vol. 218. – P. 1045-1054.
8. Ma Z. et al. Intelligent Parking Control Method Based on Multi-Source Sensory Information Fusion and End-to-End Deep Learning // *Applied Sciences*. – 2023. – Vol. 13, No. 8. – P. 5003.
9. Dev N.M. et al. Parking Space Detector // *Grenze International Journal of Engineering & Technology (GIJET)*. – 2023. – Vol. 9, No. 1.
10. Карнов А.С. Системы интеллектуального управления парковочными пространствами // *Вестник науки*. – 2024. – Т. 4, № 6 (75). – С. 1412-1419.
11. Панина В.С., Амеличев Г.Э., Белов Ю.С. Интеллектуальная парковочная система как часть интеллектуальной транспортной системы // *E-Scio*. – 2022. – № 1 (64). – С. 445-452.
12. Singh T. et al. Artificial intelligence-enabled smart parking system // *International Conference on Electrical and Electronics Engineering*. – Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. – P. 419-436.
13. Alymani M. et al. Enabling smart parking for smart cities using Internet of Things (IoT) and machine learning // *PeerJ Computer Science*. – 2025. – Vol. 11. – P. e2544.
14. Alsheikhy A.A. et al. An intelligent smart parking system using convolutional neural network // *Journal of Sensors*. – 2022. – Vol. 2022, No. 1. – P. 7571716.
15. Панина В.С., Амеличев Г.А., Белов Ю.С. Интеллектуальная парковочная система на основе сверточных нейронных сетей // *Научное обозрение. Технические науки*. – 2022. – № 1. – С. 29-33. – URL: <https://science-engineering.ru/ru/article/view?id=1382> (дата обращения: 26.02.2025).
16. Rashidi M.R. et al. IoT-Enabled Smart Parking System Using Artificial Intelligence and Optical Character Recognition // *2024 6th International Conference on Communications, Signal Processing, and their Applications (ICCSIPA)*. – IEEE, 2024. – P. 1-6.
17. Пшенокова И.А., Бжихатлов К.Ч., Унагасов А.А., Абазоков М.А. Мультиагентный алгоритм сбора данных с метеостанции для прогнозирования урожайности и состояния посевов // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2022. – № 1 (225). – С. 91-101.
18. Nagoev, Z., Bzhikhatlov, K., Pshenokova, I., Unagasov, A. Algorithms and Software for Simulation of Intelligent Systems of Autonomous Robots Based on Multi-agent Neurocognitive Architectures / In: Ronzhin A., Savage J., Meshcheryakov R. (eds) // *Interactive Collaborative Robotics. ICR 2024. Lecture Notes in Computer Science*. – 2024. – Vol. 14898. – Springer, Cham. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-71360-6_29.
19. Нагоев З.В. Интеллектика, или мышление в живых и искусственных системах. – Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, 2013. – 211 с.
20. Пшенокова И.А., Нагоева О.В., Аниев А.З., Энес А.З. Формирование динамических причинно-следственных зависимостей при управлении поведением интеллектуального агента на основе формализма мультиагентных нейрокогнитивных архитектур // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. – 2022. – № 5 (109). – С. 73-80. – DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-73-80.
21. Bzhikhatlov K., Nagoeva O., Anchokov M., Makoeva D. Methods and Algorithms (Modeling of Reasoning) to Synthesize Intellectual Behavior of Autonomous Mobile Robots and Program Complexes Based on Received Reasoning Models / In: Samsonovich, A.V., Liu, T. (eds). *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2024. BICA 2024. Studies in Computational Intelligence*. – 2024. – Vol. 477. – Springer, Cham. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-76516-2_7.

REFERENCES

1. Vera-Gómez J.A. et al. An intelligent parking management system for urban areas, *Sensors*, 2016, Vol. 16, No. 6, pp. 931. Available at: <https://doi.org/10.3390/s16060931>.
2. Ahad A., Khan Z.R., Ahmad S.A. Intelligent parking system, *World Journal of Engineering and Technology*, 2016, Vol. 4, No. 2, pp. 160-167.
3. Elfaki A.O. et al. A smart real-time parking control and monitoring system, *Sensors*, 2023, Vol. 23, No. 24, pp. 9741. Available at: <https://doi.org/10.3390/s23249741>.
4. Shin J.H., Jun H.B., Kim J.G. Dynamic control of intelligent parking guidance using neural network predictive control, *Computers & Industrial Engineering*, 2018, Vol. 120, pp. 15-30.
5. Liu J., Wu J., Sun L. Control method of urban intelligent parking guidance system based on Internet of Things, *Computer Communications*, 2020, Vol. 153, pp. 279-285.
6. Canli H., Toklu S. Deep learning-based mobile application design for smart parking, *IEEE Access*, 2021, Vol. 9, pp. 61171-61183.
7. Aditya A. et al. An IoT assisted intelligent parking system (IPS) for smart cities, *Procedia Computer Science*, 2023, Vol. 218, pp. 1045-1054.
8. Ma Z. et al. Intelligent Parking Control Method Based on Multi-Source Sensory Information Fusion and End-to-End Deep Learning, *Applied Sciences*, 2023, Vol. 13, No. 8, pp. 5003.
9. Dev N.M. et al. Parking Space Detector, *Grenze International Journal of Engineering & Technology (GIJET)*, 2023, Vol. 9, No. 1.

10. Karpov A.C. Sistemy intellektual'nogo upravleniya parkovochnymi prostranstvami [Intelligent parking space management systems], *Vestnik nauki* [Science Bulletin], 2024, Vol. 4, No. 6 (75), pp. 1412-1419.
11. Panina V.S., Amelichev G.E., Belov Yu.S. Intellektual'naya parkovochnaya sistema kak chast' intellektual'noy transportnoy sistemy [Intelligent parking system as part of an intelligent transport system], *E-Scio*, 2022, No. 1 (64), pp. 445-452.
12. Singh T. et al. Artificial intelligence-enabled smart parking system, *International Conference on Electrical and Electronics Engineering*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023, pp. 419-436.
13. Alymani M. et al. Enabling smart parking for smart cities using Internet of Things (IoT) and machine learning, *PeerJ Computer Science*, 2025, Vol. 11, pp. e2544.
14. Alsheikhy A.A. et al. An intelligent smart parking system using convolutional neural network, *Journal of Sensors*, 2022, Vol. 2022, No. 1, pp. 7571716.
15. Panina V.S., Amelichev G.A., Belov Yu.S. Intellektual'naya parkovochnaya sistema na osnove svertochnykh neyronnykh setey [Intelligent parking system based on convolutional neural networks], *Nauchnoe obozrenie. Tekhnicheskie nauki* [Scientific Review. Technical Sciences], 2022, No. 1, pp. 29-33. Available at: <https://science-engineering.ru/article/view?id=1382> (accessed 26 February 2025).
16. Rashidi M.R. et al. IoT-Enabled Smart Parking System Using Artificial Intelligence and Optical Character Recognition, *2024 6th International Conference on Communications, Signal Processing, and their Applications (ICCSIPA)*. IEEE, 2024, pp. 1-6.
17. Pshenokova I.A., Bzhikhatlov K.Ch., Unagasov A.A., Abazokov M.A. Mul'tiagentnyy algoritm sbora dannykh s meteostantsii dlya prognozirovaniya urozhaynosti i sostoyaniya posevov [Multi-agent algorithm for collecting data from a weather station to forecast crop yields and conditions], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2022, No. 1 (225), pp. 91-101.
18. Nagoev, Z., Bzhikhatlov, K., Pshenokova, I., Unagasov, A. Algorithms and Software for Simulation of Intelligent Systems of Autonomous Robots Based on Multi-agent Neurocognitive Architectures, In: Ronzhin A., Savage J., Meshcheryakov R. (eds), *Interactive Collaborative Robotics. ICR 2024. Lecture Notes in Computer Science*, 2024, Vol. 14898. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-71360-6_29.
19. Nagoev Z.V. Intellektika, ili myshlenie v zhivyykh i iskusstvennykh sistemakh [Intelligence, or thinking in living and artificial systems]. Nal'chik: Izd-vo KBNTS RAN, 2013, 211 p.
20. Pshenokova I.A., Nagoeva O.V., Apshev A.Z., Enes A.Z. Formirovanie dinamicheskikh prichinno-sledstvennykh zavisimostey pri upravlenii povedeniem intellektual'nogo agenta na osnove formalizma mul'tiagentnykh neyrokognitivnykh arkhitektur [Formation of dynamic cause-and-effect dependencies in controlling the behavior of an intelligent agent based on the formalism of multi-agent neurocognitive architectures], *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS], 2022, No. 5 (109), pp. 73-80. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-73-80.
21. Bzhikhatlov K., Nagoeva O., Anchokov M., Makoeva D. Methods and Algorithms (Modeling of Reasoning) to Synthesize Intellectual Behavior of Autonomous Mobile Robots and Program Complexes Based on Received Reasoning Models, In: Samsonovich, A.V., Liu, T. (eds). *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2024. BICA 2024. Studies in Computational Intelligence*, 2024, Vol. 477. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-76516-2_7.

Пшенокова Инна Ауесовна – Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук; e-mail: pshenokova_inna@mail.ru; г. Нальчик, Россия; к.ф.-м.н.; зав. лабораторией «Интеллектуальные среды обитания».

Бжикхатлов Кантемир Чамалович – Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук; e-mail: haosit13@mail.ru; тел.: +79631663448; г. Нальчик, Россия; к.ф.-м.н.; зав. лабораторией «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы».

Каноква Мадина Аликовна – Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук; e-mail: kanokova.madina@yandex.ru; г. Нальчик, Россия; научный сотрудник лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы».

Pshenokova Inna Auesovna – Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences; e-mail: pshenokova_inna@mail.ru; Nalchik, Russia; cand. of phys. and math. sc.; head of the laboratory «Intellektual'nyye sredy obitaniya».

Bzhikhatlov Kantemir Chamalovich – Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences; e-mail: haosit13@mail.ru; Nalchik, Russia; phone: +79631663448; cand. of phys. and math. sc.; head of the laboratory «Neurocognitive autonomous intelligent systems».

Kanokova Madina Alikovna – Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences; e-mail: kanokova.madina@yandex.ru; Nalchik, Russia; research fellow “Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems”.