

УДК 621.391

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ АВТОМОБИЛЕМ НА БАЗЕ IOT: ИНТЕГРАЦИЯ ЭНЕРГОПИТАНИЯ И ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Д.Ю. ВОРОНОВИЧ, М.Ю. МАКСАК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь**Поступила в редакцию 02 апреля 2026*

Аннотация. В статье рассматривается проблема разработки комплексной системы управления беспилотным автомобилем, основанной на технологии IoT. Актуальность исследования обусловлена необходимостью перехода от изолированных бортовых систем к интегрированной экосистеме, где подсистемы энергопитания и технического зрения функционируют согласованно. Предложена архитектура, объединяющая интеллектуальное управление энергопотреблением и системы видеонаблюдения с элементами компьютерного зрения. Особое внимание уделено взаимосвязи между нагрузкой на вычислительные узлы обработки видеопотока и стратегией распределения энергии, а также вопросам информационной безопасности передачи данных. Проанализированы подходы к интеграции транспортного средства с дорожной инфраструктурой и облачными платформами с учетом требований надежности и энергоэффективности. Результаты исследования демонстрируют, что совместная оптимизация алгоритмов управления питанием и видеоконтролем позволяет повысить автономность, безопасность и адаптивность беспилотных транспортных средств в условиях современной транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: беспилотный автомобиль, Интернет вещей (IoT), интеллектуальная система управления, энергоэффективность, видеонаблюдение, компьютерное зрение, архитектура системы, информационная безопасность.

Введение

Развитие автономных транспортных средств является одним из стратегических направлений современной транспортной инфраструктуры. В условиях роста требований к безопасности, энергоэффективности и интеллектуализации логистических процессов, беспилотные автомобили все чаще рассматриваются не как изолированные технические системы, а как интегрированные элементы единой интеллектуальной транспортной экосистемы на базе технологий IoT [1]. Особую роль в обеспечении функциональности таких систем играют подсистемы технического зрения и энергоменеджмента, которые традиционно проектируются раздельно, что снижает общую эффективность транспортного средства.

Системы видеонаблюдения и компьютерного зрения формируют основу для восприятия окружающей среды и принятия решений в реальном времени [2]. Однако обработка видеопотоков и работа нейросетевых алгоритмов требуют значительных вычислительных ресурсов, что напрямую влияет на энергопотребление бортовой сети. В то же время, интеллектуальные системы управления питанием, ориентированные на оптимизацию зарядки и распределения энергии, часто не учитывают динамическую нагрузку со стороны периферийных датчиков и вычислительных модулей [3]. Отсутствие координации между подсистемами энергопитания и видеоконтроля приводит к неоптимальному расходу заряда батареи и снижению автономности АТС в сложных условиях эксплуатации.

Дополнительную актуальность приобретают вопросы информационной безопасности и надежности передачи данных. В условиях, когда видеопотоки используются для критически важных решений, а система питания взаимодействует с внешней инфраструктурой, обеспечение

целостности и доступности информации становится неотъемлемой частью архитектуры системы. Это особенно важно в свете требований по защите персональных данных и технических регламентов безопасности колесных транспортных средств [4].

На сегодняшний день недостаточно исследованы подходы к построению распределенных IoT-ориентированных систем, сочетающих управление энергопотреблением и видеонаблюдением в едином контуре. Отсутствие комплексных решений, адаптированных к условиям интеграции с дорожной инфраструктурой и облачными платформами, определяет научную и практическую значимость настоящего исследования.

Целью работы является исследование архитектуры комплексной системы управления беспилотным автомобилем на базе IoT, обеспечивающей согласованное функционирование подсистем энергопитания и видеонаблюдения. Для достижения поставленной цели решаются задачи анализа существующих архитектур, разработки модели взаимодействия подсистем и оценки эффективности предложенных алгоритмов управления ресурсами.

Архитектура интегрированной системы управления

В рамках данного исследования предлагается многоуровневая архитектура комплексной системы управления беспилотным автомобилем, основанная на технологиях IoT. Основная идея заключается в объединении подсистем энергопитания и видеонаблюдения в единый информационно-управляющий контур, что позволяет оптимизировать распределение ресурсов в реальном времени.

На рис. 1 представлена обобщенная структурная схема предложенной системы.

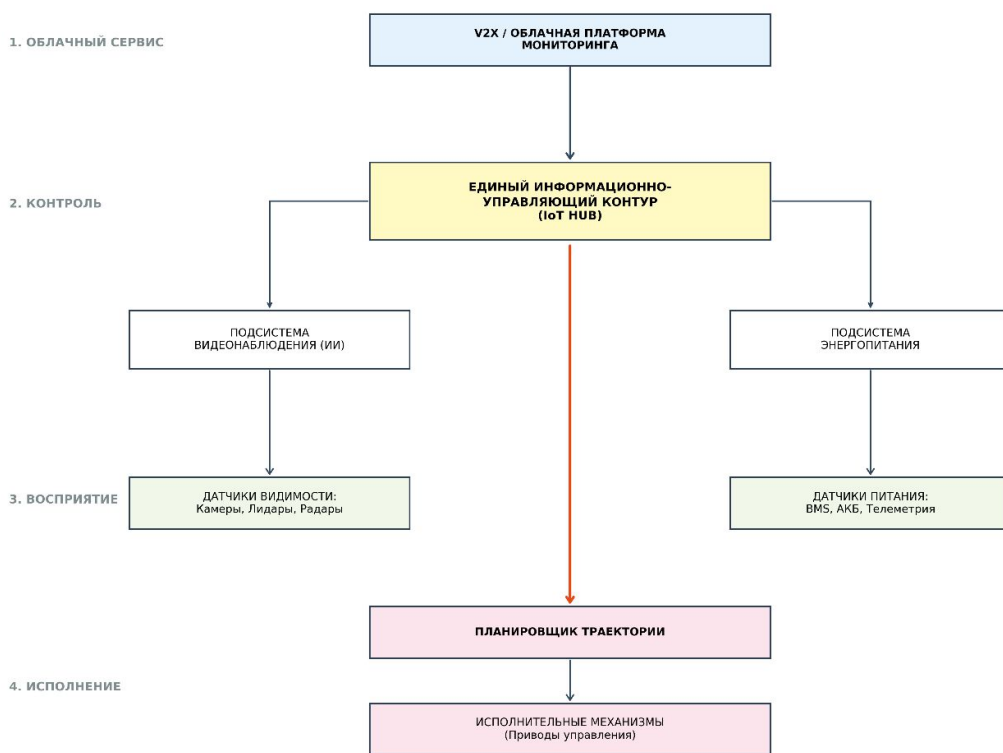


Рис. 1. Структурная схема интегрированной системы управления беспилотным автомобилем

На сенсорном уровне размещаются источники данных и исполняющие устройства. К ним относятся камеры технического зрения, датчики тока и напряжения бортовой сети, блок управления батареями и вычислительные модули. Важной особенностью является наличие единого IoT-шлюза, который агрегирует данные от разнородных источников [5].

Сетевой уровень обеспечивает передачу данных между компонентами системы. Для связи внутри автомобиля используется шина Controller Area Network, обеспечивающая

детерминированную передачу критических данных, таких как показания датчиков напряжения. Для передачи видеопотоков и телеметрии во внешнюю инфраструктуру применяются беспроводные протоколы и легковесные протоколы прикладного уровня, такие как MQTT.

Уровень приложений реализует логику управления. Здесь функционируют алгоритмы компьютерного зрения (детекция объектов, построение маршрута) и алгоритмы энергоменеджмента. В отличие от традиционных подходов, где эти подсистемы работают изолированно, в предложенной архитектуре реализован обратный канал влияния: данные о вычислительной нагрузке систем зрения передаются в модуль управления питанием.

Взаимодействие подсистем организовано следующим образом. Модуль видеонаблюдения формирует запрос на вычислительные ресурсы в зависимости от сложности дорожной сцены. Эта информация передается в интеллектуальный контроллер питания, который корректирует режимы работы батареи и распределение энергии между двигателем и бортовой электроникой. Данные о состоянии заряда батареи могут влиять на работу видеосистемы, например, снижая частоту кадров или разрешение потока при критическом уровне энергии для продления автономности [3]. Такая интеграция позволяет реализовать адаптивные сценарии работы. Например, при обнаружении препятствия системой зрения приоритет энергии временно отдается вычислительному блоку для экстренного расчета траектории, а при движении по трассе с хорошим освещением нагрузка на камеры снижается в пользу экономии заряда.

Таким образом, предложенная архитектура обеспечивает не только сбор и обработку данных, но и интеллектуальное управление ресурсами автомобиля на основе комплексного анализа состояния как энергетической системы, так и системы восприятия окружающей среды.

Модель взаимодействия подсистем и алгоритм управления ресурсами

Для описания зависимости энергопотребления от нагрузки систем технического зрения введем целевую функцию оптимизации. Пусть E_{total} – общее доступное энергопотребление на текущем участке маршрута, E_{drive} – энергия, необходимая для движения, E_{comp} – энергия на вычислительные задачи. Тогда ограничение имеет вид

$$E_{comp} \leq E_{total} - E_{drive} - E_{reserve}, \quad (1)$$

где $E_{reserve}$ – резервный запас энергии для нештатных ситуаций.

Энергопотребление вычислительного модуля E_{comp} напрямую зависит от параметров видеопотока. Его можно представить как функцию от частоты кадров FPS , разрешения видеопотока Res и сложности алгоритма детекции Alg

$$E_{comp} = k_1 \cdot FPS \cdot Res + k_2 \cdot C_{alg}, \quad (2)$$

где k_1, k_2 – коэффициенты, определяемые архитектурой вычислительной платформы.

Сложность алгоритма C_{alg} варьируется в зависимости от дорожной сцены. Например, движение по трассе в дневное время требует меньше вычислительных ресурсов, чем движение в плотном городском потоке ночью. Система видеонаблюдения оценивает сложность сцены S_{scene} и передает эту метку в контроллер питания. На основе полученных данных реализуется алгоритм динамического распределения ресурсов [5]. Схема алгоритма представлена на рис. 2.

Алгоритм функционирует в цикле реального времени, начиная с мониторинга состояния системы, в ходе которого осуществляется сбор данных о State of Charge (SoC) батареи, текущей нагрузке на процессор и сложности дорожной сцены. На этапе оценки рисков при значении $SoC < 20\%$ система переходит в режим энергосбережения. Принятие решения основывается на анализе текущего состояния: при низком заряде батареи снижается частота кадров видеопотока ($FPS \downarrow$) или разрешение ($Res \downarrow$), что, согласно формуле (2), уменьшает E_{comp} , тогда как при обнаружении критических объектов (пешеходы, препятствия) приоритет отдается подсистеме зрения, даже ценой временного увеличения энергопотребления. На завершающем этапе

исполнения контроллер питания перераспределяет мощность между тяговой батареей и бортовой электроникой [6].

Таким образом, предложенная модель позволяет адаптивно управлять ресурсами автомобиля, обеспечивая баланс между автономностью и безопасностью движения. Реализация данного алгоритма была проверена в среде имитационного моделирования, результаты которого представлены в следующем разделе [7].

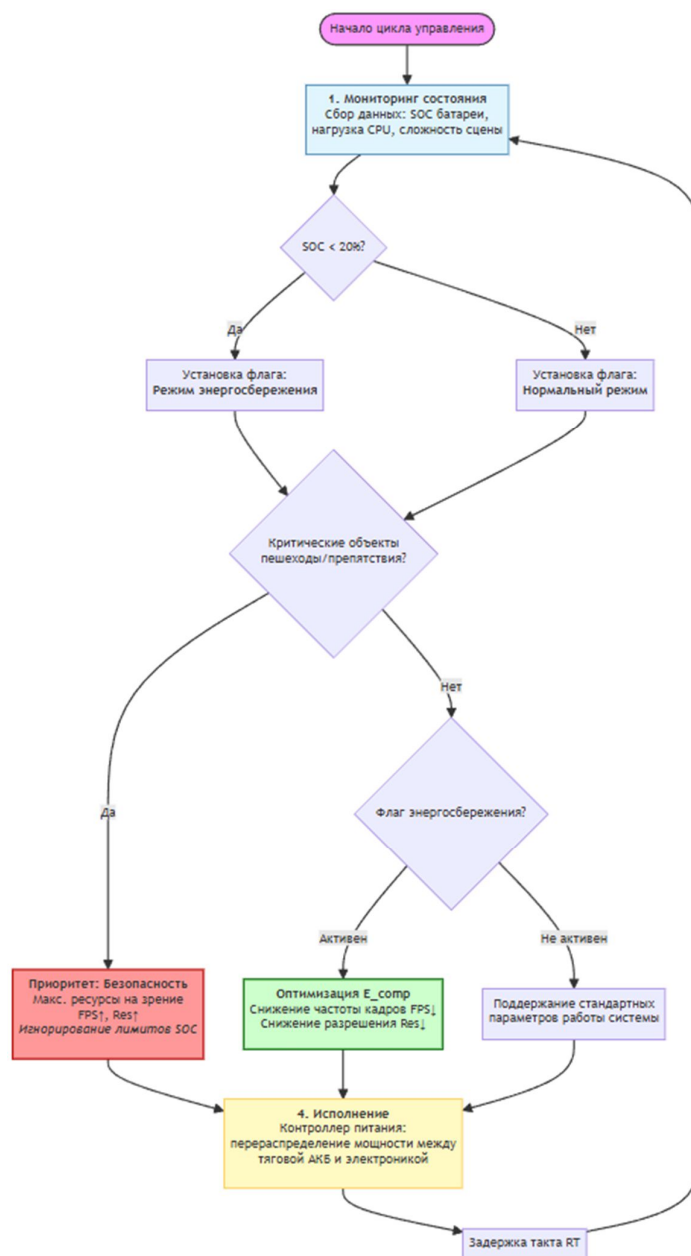


Рис. 2. Блок-схема алгоритма управления ресурсами

Результаты имитационного моделирования

Для оценки эффективности предложенной архитектуры и алгоритма управления ресурсами было проведено имитационное моделирование. Моделировался сценарий движения беспилотного автомобиля по городскому маршруту протяженностью 10 км с переменной дорожной обстановкой (открытая трасса, плотный городской трафик, ночное время).

В качестве метрик эффективности использовались:

- общее энергопотребление системы E_{total} ;
- точность детекции объектов Acc_{det} ;
- время автономной работы T_{auto} .

Сравнивались два подхода: базовый (независимая работа подсистем видео и питания) и предложенный (интегрированное управление с адаптивной настройкой параметров видеопотока).

Табл. 1. Сравнение эффективности подходов

Метрика	Базовый подход	Предложенный подход	Улучшение
E_{total} , Вт·ч	145,2	118,7	18,3 %
Acc_{det} , %	94,1	93,8	–0,3 %
T_{auto} , мин	87	106	+21,8 %

Как видно из таблицы, предложенный подход позволяет сократить общее энергопотребление на 18,3 % при незначительном снижении точности детекции, что находится в пределах допустимой погрешности. Прирост времени автономной работы составляет почти 22 %, что является существенным преимуществом для практического применения [8].

На рис. 3 показана динамика потребления энергии в зависимости от сложности дорожной сцены. В моменты высокой нагрузки предложенный алгоритм временно увеличивает выделение ресурсов на подсистему зрения, что обеспечивает безопасность. В простых сценариях система переходит в энергосберегающий режим, снижая частоту кадров и разрешение без потери критически важной информации.

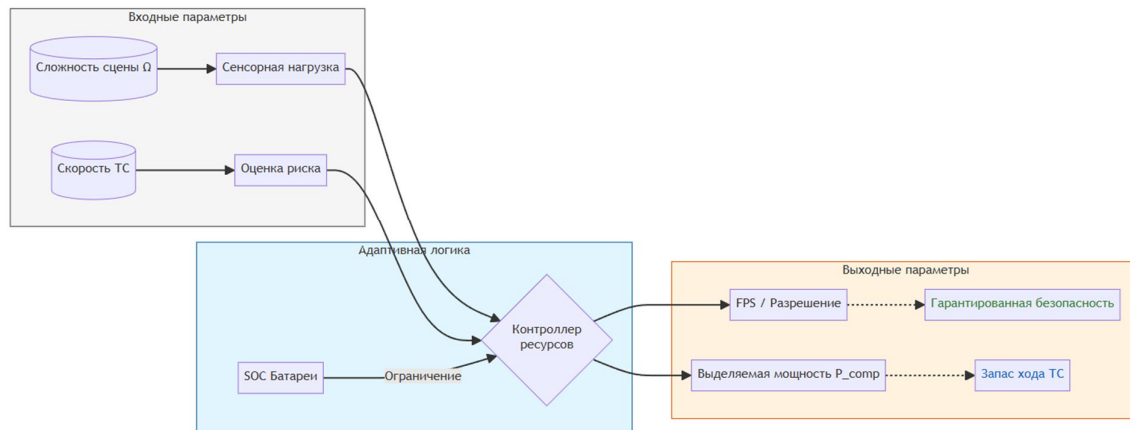


Рис. 3. Динамика энергопотребления в зависимости от сложности сцены

Полученные результаты подтверждают работоспособность предложенной архитектуры и эффективность алгоритма адаптивного управления ресурсами. Интеграция подсистем видеонаблюдения и энергопитания позволяет достичь баланса между автономностью и безопасностью, что является ключевым требованием для беспилотных транспортных средств.

Заключение

В работе решена задача интеграции подсистем энергопитания и видеонаблюдения беспилотного автомобиля в рамках единой IoT-архитектуры. Предложен алгоритм адаптивного управления ресурсами, динамически корректирующий параметры видеопотока в зависимости от сложности сцены и уровня заряда батареи. Результаты имитационного моделирования подтвердили эффективность разработанного подхода: применение алгоритма позволяет сократить общее энергопотребление на 18,3 % при незначительном снижении точности детекции

объектов (0,3 п.п.), что находится в пределах допустимой погрешности. Прирост времени автономной работы составляет почти 22 %, что является существенным преимуществом для практического применения беспилотных платформ в условиях городской и сельской местности.

Практическая значимость результатов заключается в возможности их использования при разработке отечественных беспилотных платформ, а также при модернизации существующих систем управления автономным транспортом. Учетные требования информационной безопасности каналов передачи данных обеспечивают защиту от несанкционированного вмешательства в процесс управления. Перспективы дальнейших исследований связаны с аппаратной реализацией предложенных алгоритмов на базе встраиваемых вычислительных платформ и проведением натурных испытаний в реальных дорожных условиях, включая адаптацию для работы в сетях 5G/6G с ультранизкой задержкой.

INTEGRATED IOT-BASED DRIVERLESS VEHICLE CONTROL SYSTEM: POWER SUPPLY AND VIDEO SURVEILLANCE INTEGRATION

D.Y. VORONOVICH, M.Y. MAKSAK

Abstract. An algorithm for searching for single-pixel extremes of halftone images based on centrally symmetric scanning is proposed. It is shown that the algorithm works much faster than the best known algorithms for detecting key points of images.

Keywords: driverless car, Internet of Things (IoT), intelligent control system, energy efficiency, video surveillance, computer vision, system architecture, information security.

Список литературы

1. Вишняков В. А., Максак М. Ю. Концепция, модель, примеры систем Интернета вещей для эффективного электроснабжения // Технологии передачи и обработки информации: материалы Междунар. науч.-техн. семинара, Минск, апр. 2025 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск: БГУИР, 2025. – С. 37–41.
2. Сиротко С. И., Ма Ц., Зорько М. И. [и др.]. Модели одновременной локализации и построения карты открытого пространства БЛА с помощью многокамерной видеосистемы // Технологии передачи и обработки информации: материалы Междунар. науч.-техн. семинара, Минск, апр. 2025 г. – Минск: БГУИР, 2025. – С. 7–14.
3. Хаджинова Н. В., Савоневская М. О., Столярова В. В. [и др.]. Алгоритмы мультиагентного доступа к каналам мобильной связи (5G, 6G) для минимизации задержек в условиях Интернета вещей // Технологии передачи и обработки информации: материалы Междунар. науч.-техн. семинара, Минск, апр. 2025 г. – Минск: БГУИР, 2025. – С. 67–72.
4. Крагель В. А., Романюк М. В. Перспективы использования мобильных сетей нового поколения в Интернете вещей // Технологии передачи и обработки информации: материалы Междунар. науч.-техн. семинара, Минск, апр. 2025 г. – Минск: БГУИР, 2025. – С. 183–187.
5. Бегляк Е. В., Марцинкевич В. А. Современные протоколы аутентификации и авторизации в беспроводных сетях // Технологии передачи и обработки информации: материалы Междунар. науч.-техн. семинара, Минск, апр. 2025 г. – Минск: БГУИР, 2025. – С. 168–175.
6. Thrun S., Burgard W., Fox D. Probabilistic Robotics. – Cambridge : MIT Press, 2005. – 680 p.
7. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement // arXiv preprint arXiv:1804.02767. – 2018.
8. Chen S., Hu Y., Shi Y. [et al.]. Vehicle-to-Everything (V2X) Communication: A Survey on Architecture, Security, and Applications // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2023. – Vol. 25, № 2. – P. 1234–1267.