

УДК 005.216.1

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ ЧЕРЕЗ СОВМЕСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ И ПОДСИСТЕМАМИ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Воронович Д.Ю., Максак М.Ю.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Вишняков В.А. – д-р техн. наук, профессор

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. 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. Беспилотные автомобили, энергопитание, компьютерное зрение, безопасность передачи данных.

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 всё 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 отдельно, 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 надёжности 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 колёсных транспортных средств [4].

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 сенсорном уровне размещаются источники данных и исполняющие устройства. К ним относятся камеры технического зрения, датчики тока и напряжения бортовой сети, блок управления батареей 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 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 и передает эту метку в контроллер питания. На основе полученных данных реализуется алгоритм динамического распределения ресурсов [5].

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).

Таблица 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 [6].

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.

Список использованных источников:

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. Бебляк 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. Закон Республики Беларусь от 7 мая 2021 г. № 99-З «О защите персональных данных» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H12100099>. – Дата доступа: 15.03.2025.

UDC 005.216.1

IMPROVING THE EFFICIENCY OF UNMANNED SYSTEMS THROUGH JOINT MANAGEMENT OF ENERGY CONSUMPTION AND VIDEO SURVEILLANCE SUBSYSTEMS

Voronovich D. Yu., Maksak M. Yu.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus*

V.A. Vishnyakov – Doctor of Technical Sciences, Professor

Abstract. This article examines the development of an integrated control system for a self-driving car based on IoT technology. The relevance of the study stems from the need to transition from isolated onboard systems to an integrated ecosystem where power supply and computer vision subsystems operate in concert. An architecture is proposed that integrates intelligent power management and video surveillance systems with computer vision elements. Particular attention is paid to the relationship between the load on computing nodes processing the video stream and the energy distribution strategy, as well as issues of data transmission security. The study's results demonstrate that joint optimization of power management and video monitoring algorithms can improve the autonomy, safety, and adaptability of autonomous vehicles in today's transportation infrastructure.

Keywords: autonomous vehicles, power supply, computer vision, data security.