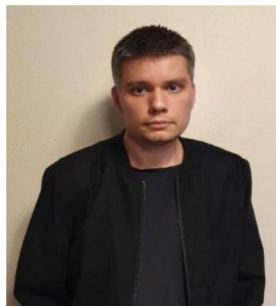


ЭЛЕМЕНТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ АВТОМОБИЛЕМ



А.И. Селезнев

*Ассистент кафедры электронных вычислительных машин
БГУИР, магистр
a.seleznev@bsuir.by*

А.И. Селезнев

Окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники и магистратуру. Область научных интересов связана с искусственным интеллектом и нейросетями в технических системах.

Аннотация. В статье рассматриваются ключевые элементы обработки данных в системах управления беспилотным транспортом. Анализируются технологические решения, обеспечивающие безопасное и эффективное функционирование автономных транспортных средств. Рассматриваются средства аппаратной поддержки в управлении БА.

Ключевые слова: беспилотный автомобиль (БА), обработка данных в БА, сенсорные системы, аппаратная поддержка.

Введение. Развитие технологий беспилотного транспорта требует создания надежных систем обработки данных, способных в реальном времени анализировать информацию с различных сенсоров и принимать корректные решения.

Ключевой компонент работы беспилотных автомобилей (БА) – система обработки данных, которая преобразует информацию от датчиков в команды для движения [1].

Основные элементы обработки данных в БА [2]:

1. Сбор данных: датчики и сенсоры. Камеры (монокулярные, стерео, кругового обзора) фиксируют визуальную информацию: дорожную разметку, знаки, светофоры, других участников движения.

Разрешение – от HD до 4K, частота кадров – 30–60 Гц. Лидары (LIDAR) создают 3D-карту окружения с помощью лазерных импульсов.

Точность – до нескольких сантиметров, дальность – до 200 м.

Результат – «облако точек» с координатами (x,y,z) для каждого объекта.

Радары (RADAR) измеряют скорость и расстояние до объектов с помощью радиоволн. Работают в любых погодных условиях, дальность – до 300 м, точность по скорости – до 0,1 м/с. Ультразвуковые датчики используются для парковки и обнаружения препятствий на малых расстояниях (до 5–8 м).

Инерциальные измерительные устройства (IMU) отслеживают ускорение и угловую скорость автомобиля (акселерометры и гироскопы). GPS/ГЛОНАСС предоставляют глобальные координаты с точностью 2–5 м (обычные) или до 10 см (с RTK-коррекцией). Датчики одометрии (колесные энкодеры) фиксируют пройденное расстояние и скорость вращения колес.

2. Предварительная обработка данных. На этом этапе «сырые» данные очищаются и приводятся к единому формату. Калибровка датчиков применяется для выравнивания координат камер, лидаров и радаров в единой системе отсчета, компенсация искажений (например, дисторсии камер).

Фильтрация шумов производится с помощью применения фильтров (например, фильтра Калмана) для сглаживания данных с IMU и GPS, удаление ложных отражений в данных лидара. Синхронизация по времени нужна для объединения данных с разных датчиков с привязкой к единой временной метке (timestamp).

3. Восприятие окружения (Perception). Система анализирует окружение и идентифицирует объекты. Алгоритмы (YOLO, Faster R-CNN) на основе камер определяют классы объектов: автомобили, пешеходы, велосипеды. Лидарные данные обрабатываются с помощью PointNet или VoxelNet для 3D-обнаружения.

Сегментация (Semantic Segmentation) применяется для пиксельной классификация изображений (дорога, тротуар, здания). Отслеживание объектов (Tracking) – присвоение уникальных ID объектам и прогнозирование их траекторий (с помощью фильтров Калмана или SORT-алгоритмов). Локализация (Localization) нужна для сопоставления данных лидара/камер с высокоточной картой (HD-map) для определения позиции автомобиля с точностью до 10 см.

4. Планирование маршрута и принятие решений. На основе данных восприятия система строит маршрут и траекторию. Глобальное планирование (Global Path Planning) необходимо для поиска оптимального маршрута от точки А до точки Б на HD-карте (алгоритмы A*, Dijkstra). Локальное планирование (Local Path Planning) служит для расчета

безопасной траектории движения с учетом динамических препятствий (алгоритмы RRT*, Model Predictive Control – MPC).

Принятие решений (Decision Making) включает в себя выбор необходимых действий: ускорение, торможение, перестроение, остановка.

Кроме того, необходимо учитывать ПДД и этические сценарии (например, при неизбежном столкновении).

5. Управление движением (Control) включает в себя реализацию запланированных действий с помощью регуляторов (PID, LQR), которые преобразуют желаемую траекторию в команды для актуаторов: угол поворота руля, газ, тормоз.

Обратная связь – данные с датчиков одометрии и IMU – используются для коррекции управляющих сигналов.

6. Вычислительная платформа включает в себя аппаратное обеспечение для обработки данных:

- центральные процессоры (CPU) выполняют общие задачи (логика, коммуникация);
- графические процессоры (GPU) ускоряют работу нейросетей для восприятия (например, NVIDIA DRIVE);

- специализированные чипы (ASIC, FPGA) оптимизированы под задачи ИИ (например, Google TPU, Tesla FSD Chip);

- системы охлаждения предотвращают перегрев при высоких нагрузках.

7. Коммуникация и безопасность реализуется с помощью V2X (Vehicle-to-Everything). Обмен данными с другими автомобилями (V2V) и инфраструктурой (V2I) происходит через Wi-Fi (DSRC) или 5G. Это особенно важно для получения информации о пробках, авариях, сигналах светофора. Кибербезопасность реализуется посредством шифрования данных и защиты от взлома бортовых систем.

8. Использование высокоточных карт (HD-Maps), которые содержат геометрия дорог, разметка, знаки, светофоры; 3D-модели окружения (деревья, здания).

Сценарий использования системы. На этапе сбора данных камера видит красный сигнал светофора, лидар обнаруживает пешехода на переходе, а радар фиксирует автомобиль впереди, замедляющийся со скоростью – 2 м/с².

На этапах предварительной обработки и восприятия окружения нейросеть классифицирует светофор как «красный», алгоритм сегментации выделяет пешехода в зоне перехода и фильтр Калмана прогнозирует траекторию переднего автомобиля.

Затем согласно этапу планирования система решает остановиться перед светофором, рассчитывается траектория торможения с ускорением –1,5 м/с².

На этапе управления PID-регулятор передает команду на тормоз и актуатор замедляет автомобиль.

Аппаратная поддержка: компьютеры и нейроморфные чипы [3].

Сложность алгоритмов ИИ и требования к времени реакции делают невозможной полную зависимость от облачных вычислений. Аппаратное обеспечение нового поколения является физическим фундаментом для работы всей системы.

Бортовые эдж-компьютеры. Эти устройства обеспечивают обработку данных непосредственно на борту автомобиля (на границе сети – «edge»).

Это позволяет значительно снизить задержки (латентность) при принятии решений, обеспечивая время реакции в миллисекунды, необходимое для безопасного управления.

Эдж-компьютеры выполняют первичную обработку сенсорных данных, запускают компактные версии нейросетей для критичных по времени задач и обеспечивают работу системы даже при потере связи с облаком.

Нейроморфные чипы. Это специализированные процессоры, архитектура которых имитирует структуру и принципы работы человеческого мозга, используя искусственные нейроны и синапсы.

Их ключевые преимущества для беспилотников заключаются в следующем:

- высокая энергоэффективность. Мозг человека потребляет около 20 Вт, и инженеры стремятся к аналогичной эффективности в нейроморфных системах. Это критически важно для электромобилей, где каждый ватт энергии на счету;
- высокая скорость обработки неструктурированных данных. Нейроморфные чипы хорошо справляются с задачами распознавания образов и обработки потоковых данных в реальном времени, что является основой восприятия в автономном вождении;
- возможность обучения на устройстве: в отличие от традиционных архитектур, нейроморфные системы потенциально способны к непрерывному обучению и адаптации непосредственно в процессе работы, без необходимости мощных облачных кластеров для переобучения моделей.

Заключение. Эффективная обработка данных является ключевым фактором успешного функционирования беспилотных транспортных средств.

Постоянное совершенствование алгоритмов и методов обработки позволяет повышать уровень автономности и безопасности систем управления.

Рассмотрены средства аппаратной поддержки.

Перспективами развития и дальнейших исследований являются: синергия технологий нейронных сетей, интернет вещей, блокчейн в управлении БА, их аппаратная поддержка; повышение точности датчиков, улучшение алгоритмов машинного обучения, внедрение 5G и V2X для обмена данными в реальном времени, создание единых стандартов безопасности и регулирования.

Список литературы

[1] Autonomous Vehicles Enabled by the Integration of IoT, Edge Intelligence, 5G, and Blockchain. *Sensors*. 2023; 23(4):1963.

[2] Петров В.В. Обработка данных в автономных системах. – СПб.: Техника, 2024.

[3] Нейроморфные системы: компьютеры, вдохновленные устройством человеческого мозга. *Habr*. 2020. URL: <https://habr.com/ru/companies/mws/articles/457578/>. – Дата доступа : 07.03.2026.

COMPONENTS OF DATA PROCESSING IN AUTONOMOUS VEHICLE CONTROL SYSTEMS

A.I. Seleznev

Teaching Assistant at the Department of Electronic Computing Machines, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR), Master's degree

Abstract. The article examines the key elements of data processing in autonomous vehicle control systems. It analyzes technological solutions, algorithms, and methods that ensure the safe and efficient operation of autonomous vehicles. Hardware support tools in UAV management are being considered.

Keywords: unmanned vehicle (UAV), data processing in the UAV, sensor systems, hardware support.