

## РАЗРАБОТКА ТРАНСПОРТНОЙ ПОДСИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО РОБОТА ДЛЯ СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ\*

А.М. КСАЛОВ<sup>1</sup>, К.Ч. БЖИХАТЛОВ<sup>2</sup>, И.А. ПШЕНОКОВА<sup>1</sup>, А.У. ЗАММОЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт информатики и проблем регионального управления –  
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук  
360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

<sup>2</sup> Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук  
360010, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2

**Аннотация.** Для сокращения поступления пестицидов и снижения химической нагрузки на окружающую среду при сохранении необходимого уровня производства продуктов питания необходимо повысить эффективность процессов мониторинга и защиты растений. Поэтому весьма актуальной является задача проектирования, разработки, тестирования и оценки автоматических и роботизированных систем для эффективной борьбы с сорняками и вредителями, направленных на сокращение использования химических веществ, повышение качества сельскохозяйственных культур и улучшение здоровья и безопасности работников отрасли. Для эффективного выполнения задачи мониторинга состояния посевов необходимо разработать транспортную подсистему робота сельскохозяйственного назначения с системой навигации и ориентации, обеспечивающей автономное перемещение по полю без опасности повреждения посадок.

В статье представлена структурная схема транспортной платформы автономного сельскохозяйственного робота, состоящая из набора сенсоров и эффекторов, обеспечивающих ориентацию и навигацию робота среди посевов. Также приведена трехмерная модель расположения сенсоров и эффекторов. Представлена модель системы управления транспортной платформой на основе инварианта нейрокогнитивной мультиагентной архитектуры. Разработан программный компонент системы управления транспортной платформой, который обеспечивает сбор и агрегацию данных, обмен сообщениями между платформой и сервером, а также вывод данных на экран пользователя. Предложенная архитектура транспортной подсистемы позволит обеспечить автономное перемещение роботов в частично наблюдаемой недетерминированной среде на достаточно большие расстояния без необходимости супервизорного контроля со стороны человека.

**Ключевые слова:** автономный робот, сельскохозяйственный мониторинг, автономная навигация, транспортная платформа

Статья поступила в редакцию 15.03.2022

Принята к публикации 11.04.2022

**Для цитирования.** Ксалов А.М., Бжихатлов К.Ч., Пшенокова И.А., Заммоев А.У. Разработка транспортной подсистемы автономного робота для системы активной защиты растений // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 2 (106). С. 31–40. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-2-106-31-40

### ВВЕДЕНИЕ

По данным Food and Agriculture organization ООН, ежегодно до 40 процентов объема мирового производства кукурузы теряется вследствие нашествия вредителей [1, 2], что наносит значительный ущерб сельскохозяйственной отрасли. Решение этой проблемы ве-

© Ксалов А.М., Бжихатлов К.Ч., Пшенокова И.А., Заммоев А.У., 2022

\* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Фонда содействия инновациям «Разработка прототипа интеллектуальной интегрированной экспертной системы активной защиты растений» (Договор № 58ГС1ИИС12-D7/72187 от 22.12.2021)

дет к увеличению использования пестицидов, что в свою очередь приводит к неустойчивой химической нагрузке на окружающую среду. Для сокращения поступления пестицидов и снижения химической нагрузки на окружающую среду при сохранении необходимого уровня производства продуктов питания необходимо повысить эффективность процессов мониторинга и защиты растений. Поэтому весьма актуальной является задача проектирования, разработки, тестирования и оценки автоматических и роботизированных систем для эффективной борьбы с сорняками и вредителями, направленных на сокращение использования химических веществ, повышение качества сельскохозяйственных культур и улучшение здоровья и безопасности работников отрасли.

Использование точных технологий управления и контроля в сельском хозяйстве может обеспечить существенную экономию гербицидов и пестицидов за счет использования новых доступных технологий, таких как глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), географические информационные системы (ГИС), автоматизированная сельскохозяйственная техника, системы изображения с высоким разрешением, сложные датчики, автоматическое управление и робототехника. Современный подход заключается в использовании существующих информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) для проектирования и создания улучшенных датчиков вредителей сельскохозяйственных культур, усовершенствованных приводов и мобильных роботов для обеспечения надлежащей борьбы с вредителями. В частности, в последние десятилетия было предпринято и опробовано несколько попыток построить сельскохозяйственные автономные системы для внедрения методов точного земледелия в реальных условиях. В этих усилиях использовались различные подходы. В работах [3–5] описаны три основных подхода к проектированию автономных сельскохозяйственных систем для внедрения методов точного земледелия в реальных условиях. В [6] приведены научно-технические цели, проблемы и результаты, достигнутые в процессе проектирования, разработки и тестирования автоматизированных интеллектуальных систем и роботов для эффективной борьбы с сорняками и болезнями в сельском хозяйстве как в химической, так и в физической (то есть механической и тепловой) областях.

Для эффективного выполнения задачи мониторинга состояния посевов необходимо разработать транспортную подсистему робота сельскохозяйственного назначения с системой навигации и ориентации, обеспечивающей неповреждение посадок.

*Объект исследования:* система навигации и ориентации автономного робота сельскохозяйственного назначения.

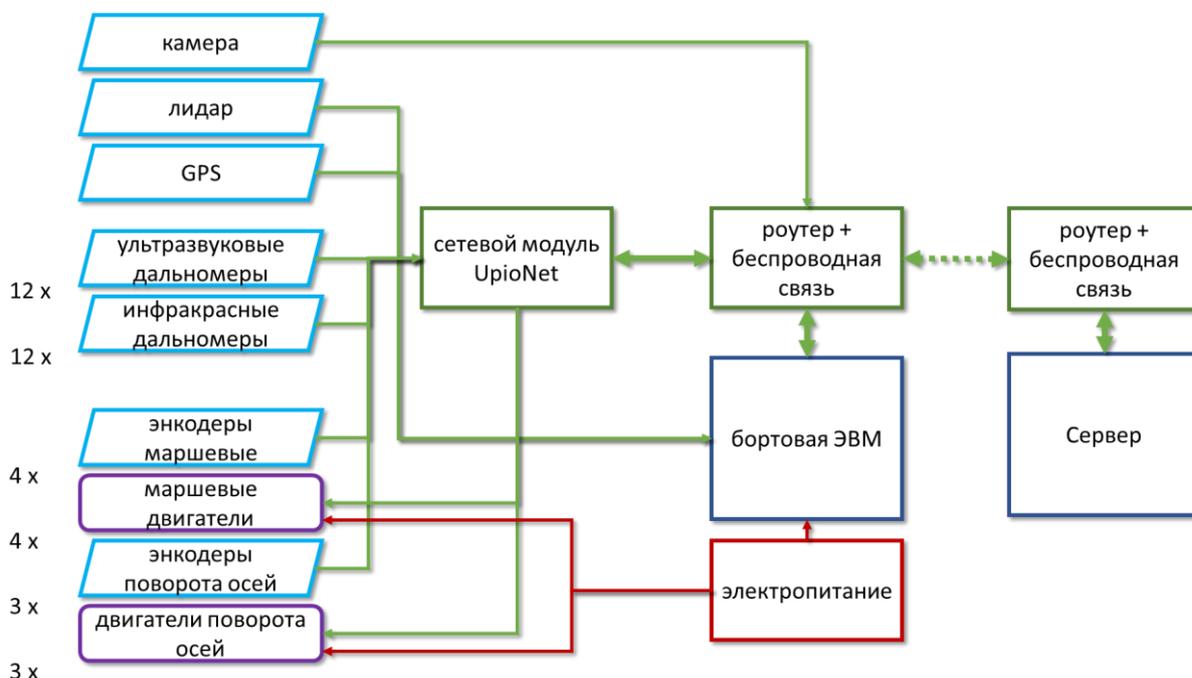
*Предмет исследования:* модели транспортной подсистемы автономного робота сельскохозяйственного назначения.

*Цель исследования:* разработка интеллектуальной системы активной защиты растений автономного робота сельскохозяйственного назначения.

*Задача исследования:* разработка архитектуры и программной модели транспортной подсистемы автономного робота.

#### АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ПОДСИСТЕМЫ

Разрабатываемая интеллектуальная экспертная система активной защиты растений предназначена для постоянного мониторинга состояния посевов *in situ*. То есть в рамках работы системы защиты растений необходимо обеспечить постоянное перемещение автономного робота по засеянным площадям. Для этого разработана транспортная платформа, представляющая собой набор сенсоров и эффекторов, обеспечивающих ориентацию и навигацию робота среди посевов. Структурная схема транспортной платформы показана на рисунке 1, а схема расположения сенсоров и эффекторов – на рисунке 2.



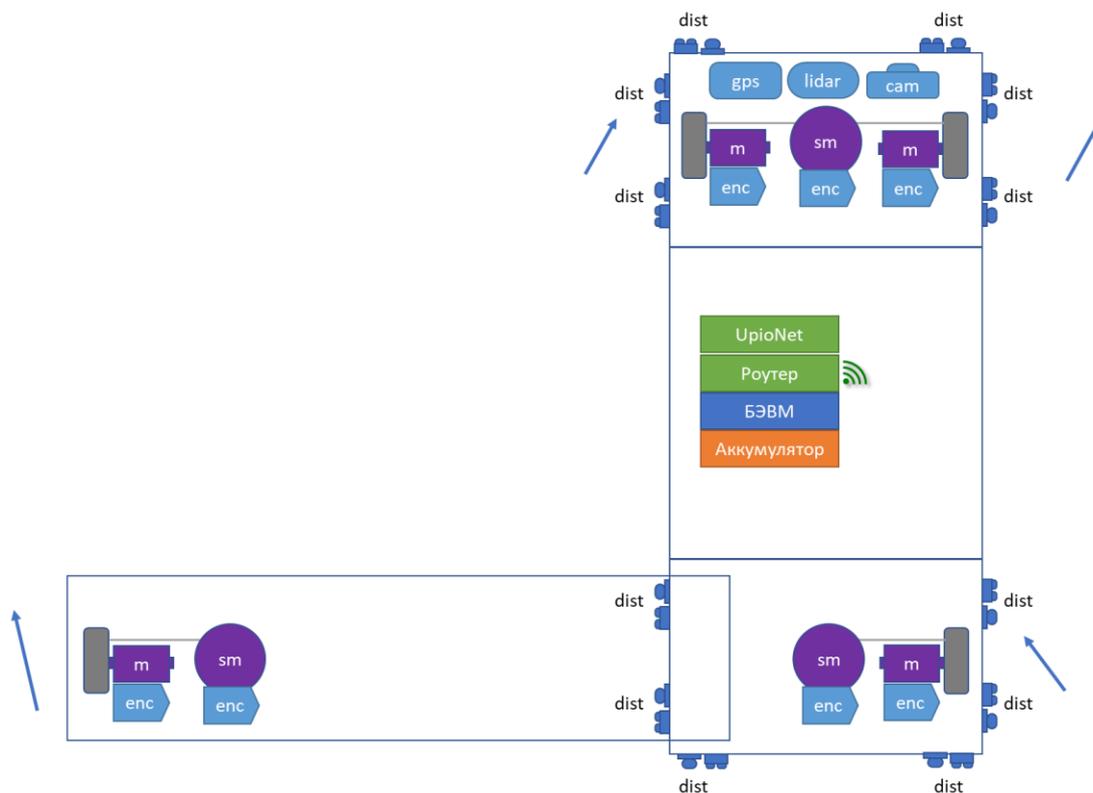
**Рис. 1.** Структурная схема подсистемы глобальных перемещений для транспортной платформы системы активной защиты растений

Сенсорная подсистема ориентации и навигации состоит из лидара [7], модуля GPS-навигации [8], а также набора ультразвуковых [9] и инфракрасных дальномеров [10]. Модуль GPS-навигации на открытой местности позволяет достаточно точно определить глобальное положение робота (географическую широту, долготу и высоту над уровнем моря), а также скорость и направление движения. Лазерный сканер и дальномеры обеспечивают обнаружение препятствий вокруг транспортной платформы и удержание междурядья за счет контроля расстояния от бортов до посадок. Кроме того, дополнительный контроль перемещения позволяет обеспечивать камера, установленная в передней части транспортной платформы.

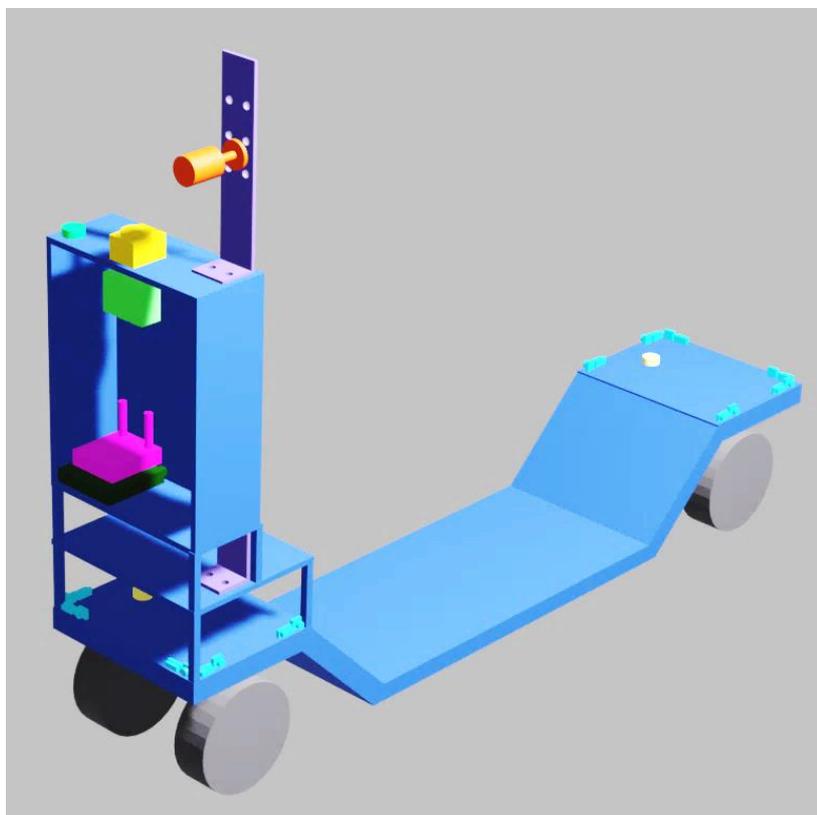
В качестве эффекторов на транспортной платформе установлены 4 независимых мотор-колеса и 3 привода для поворота осей. На каждом из двигателей установлены энкодеры, позволяющие контролировать скорость вращения колес и угол поворота осей. Все сенсоры и эффекторы транспортной платформы подключены к модулю сбора и передачи данных (UpioNet модуль) по I2C протоколу. Модуль обеспечивает сбор данных с датчиков, отправку команд эффекторам и отправку данных по протоколу TCP/IP на систему принятия решений. Связь как с бортовой ЭВМ, так и с внешними серверами системы принятия решений происходит через роутер со встроенным модулем беспроводной связи (GSM/LTE или LoRa WAN). IP камера подключена к роутеру напрямую. Стоит отметить, что подобная реализация позволяет распределить вычислительную нагрузку между ЭВМ робота и облачным сервисом, что значительно снижает объем передаваемых данных и нагрузку на сервер.

На рисунке 2 показано расположение дальномеров (dist), лидара (lidar), модуля навигации (gps), камеры (cam), двигателей моторов (m), приводов для поворота осей (sm) и энкодеров (enc). На рисунке 3 приведена трехмерная модель расположения сенсоров и эффекторов. Пары дальномеров установлены по всему периметру транспортной платформы и отслеживают положение посевов по бокам и появление невысоких препятствий перед и за роботом.

РАЗРАБОТКА ТРАНСПОРТНОЙ ПОДСИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО РОБОТА  
ДЛЯ СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ



*Рис. 2. Схема расположения сенсоров и эффекторов системы ориентации и навигации на транспортной платформе системы активной защиты растений*



*Рис. 3. Трехмерная модель расположения датчиков системы ориентации и навигации на транспортной платформе*

Лидар расположен выше, что позволяет строить виртуальную карту местности без необходимости учета «слепых» зон. GPS-приемник и камера также расположены в верхней части платформы для обеспечения лучшего приема сигнала спутников и видимости соответственно. На трехмерной модели показана только транспортная платформа без манипулятора и системы опрыскивания растений.

#### РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ

Управление транспортной платформой, как и всей системой активной защиты растений, обеспечивается системой принятия решений на базе нейрокогнитивной мультиагентной архитектуры [11]. В [12] было введено понятие интеллектуального агента, который управляется мультиагентной нейрокогнитивной архитектурой, состоящей из программных агентов-нейронов, синтезирующих свое поведение в интересах максимизации собственных локальных целевых функций. Взаимодействие между агентами-нейронами (агнейронами) осуществляется посредством выполнения мультиагентного алгоритма – обмена сообщениями в рамках единой системы функциональных узлов. Последовательность функциональных узлов образует инвариант организационной структуры принятия решений [13]. Такая последовательность включает в себя функциональные узлы распознавания состояний по входным данным с сенсоров, оценки состояний, синтеза целей, синтеза действий, контроля выполнения действий, эффекторы для непосредственного воздействия на внешнюю среду.

На автономном роботе установлены сенсоры, эффекторы и программа управления, обеспечивающая сбор и отправку данных. Данные с датчиков робота попадают на сервер, где отправляются в систему принятия решений. При этом каждому датчику на роботе соответствует отдельный агент-актор в мультиагентной архитектуре. Достройка функциональных узлов нейрокогнитивной архитектуры осуществляется автоматически по мере ознакомления интеллектуального агента с контентом путем порождения по требованию, при помощи нейронных фабрик (нейрофабрик), специальных агентов-нейронов, выполняющих функциональную репрезентацию локации, координат и объектов, отвечающих за положение и ориентацию робота и объектов на поле (посадки, обнаруженные вредители и сорняки, персонал, другие роботы и техника). Взаимодействие между этими агентами осуществляется посредством мультиагентного алгоритма или контракта [14]. Выполнение мультиагентных алгоритмов приводит к формированию модели текущего положения робота и элементов внешней среды, которая обеспечивается в мультиагентной архитектуре агнейроном-событием.

Параллельно с фиксацией текущего положения идет процесс получения заданий от пользователя либо от других систем принятия решений. На основе полученного задания создаются агенты-целеполагания, основной функцией которых является процедура поиска начального и конечного состояния при движении в графе состояний интеллектуального агента, и формируется модель целевого положения (то есть мультиагентное представление места, где должен находиться робот). Модель подсистемы управления перемещением приведена на рисунке 4.

На основе этих моделей происходит расчет траектории и создание соответствующих агентов-действий. Эти агенты в свою очередь отправляют сообщения агентам-эффекторам, передающие сигналы на соответствующие им эффекторы робота. В результате система принятия решений отправляет набор команд для двигателей робота, необходимых для перемещения в целевую локацию.

Стоит отметить, что данные о текущем и целевом положении робота сохраняются в отдельных базах данных на сервере. Кроме того, помимо интеллектуального управления положением, предложенная система реализует и прямой контроль робота пользователем.

РАЗРАБОТКА ТРАНСПОРТНОЙ ПОДСИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО РОБОТА  
ДЛЯ СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

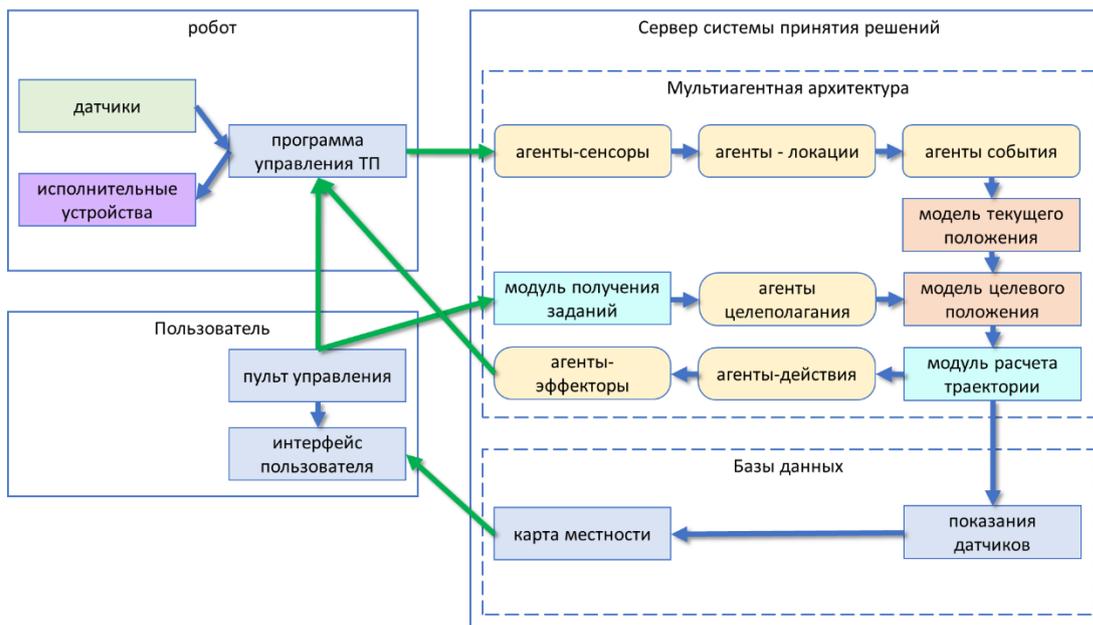


Рис. 4. Модель подсистемы управления перемещением

Для тестирования работы с эффекторами и сенсорами разрабатывалась программа для управления транспортной платформой, которая должна обеспечить сбор и агрегацию данных, обмен сообщениями между платформой и сервером и вывод данных на экран пользователя. Алгоритм работы программы управления транспортной платформой приведен на рисунке 5.

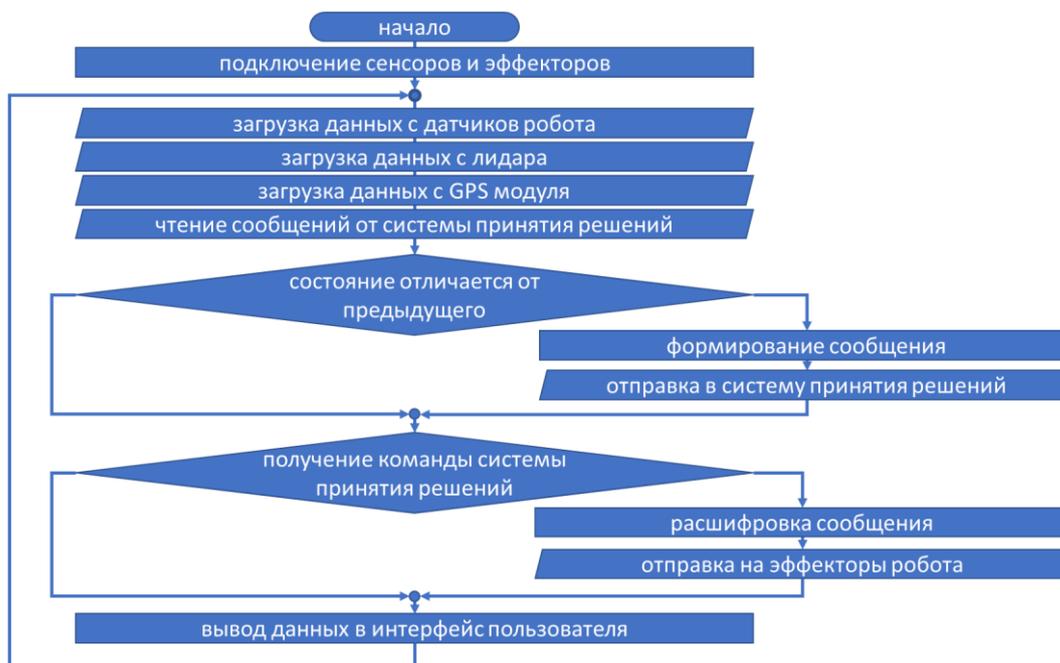


Рис. 5. Алгоритм работы программы для управления транспортной платформой

При запуске программа обеспечивает подключение модуля UpioNet к сенсорам и эффекторам транспортной платформы. Затем запускается постоянный цикл работы, в котором обеспечивается загрузка данных с различных датчиков робота, а также чтение сообщений от системы принятия решений. Затем, если показания датчиков отличаются от

предыдущих, программа формирует и отправляет эту информацию в систему принятия решений (в виде json объекта). Если была получена команда от системы принятия решений, то программа дешифрует это сообщение и отправляет на соответствующие эффекторы (в виде UDP запроса для UrioNet модуля). Затем все данные выводятся на графический интерфейс разработанной программы (приведен на рисунке 6).

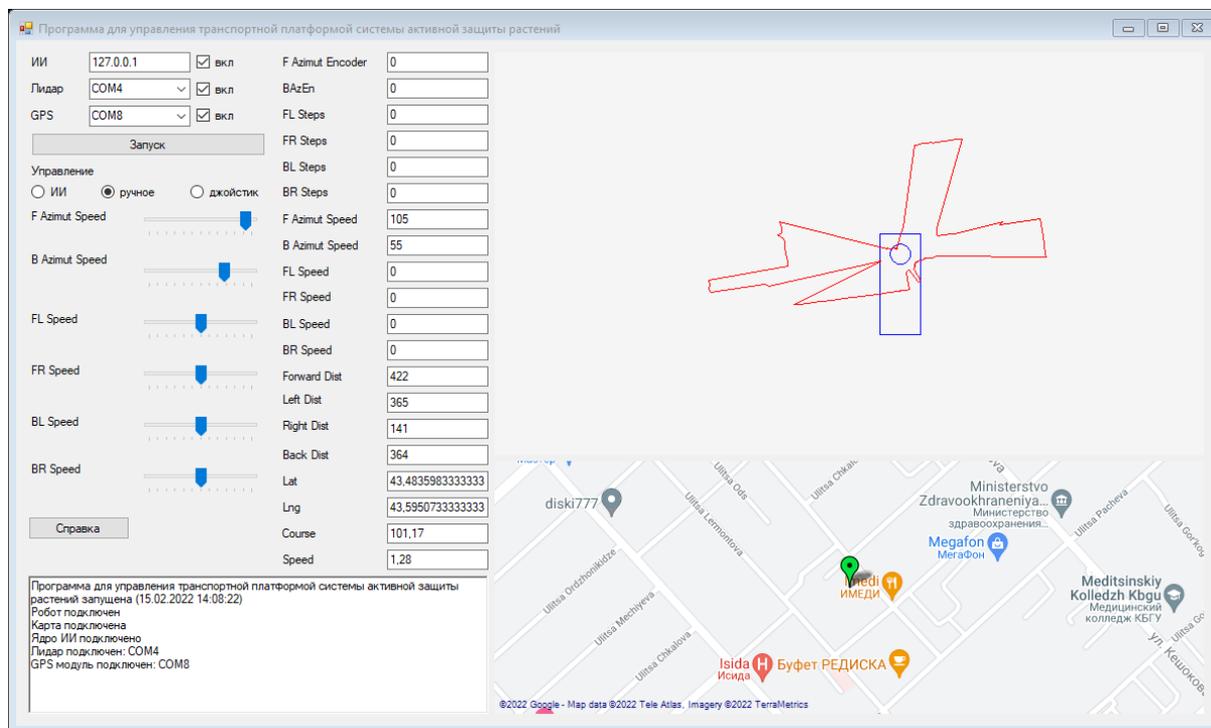


Рис. 6. Внешний вид программы для управления транспортной платформой

Как видно из рисунка, на экран пульта управления выводятся названия и показания всех сенсоров, а также состояния эффекторов. Кроме того, выводится карта местности, построенная по данным лидара, и карта местоположения робота, полученная из данных GPS-приемника и открытых картографических сервисов. Это позволяет не только следить за показаниями датчиков, но и в реальном времени отслеживать процесс работы интеллектуальной системы защиты растений. Кроме того, на экране программы выведены регуляторы для прямого управления эффекторами транспортной платформы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлена структурная схема транспортной платформы автономного сельскохозяйственного робота, состоящая из набора сенсоров и эффекторов, обеспечивающих ориентацию и навигацию робота среди посевов.

Также приведена трехмерная модель расположения сенсоров и эффекторов. Представлена модель системы управления транспортной платформой на основе инварианта нейрокогнитивной мультиагентной архитектуры. Разработан программный компонент системы управления транспортной платформой, который обеспечивает сбор и агрегацию данных, обмен сообщениями между платформой и сервером, а также вывод данных на экран пользователя. Подобная архитектура транспортной подсистемы агротехнических роботов позволит обеспечить автономное перемещение в частично наблюдаемой недетерминированной среде на достаточно большие расстояния без необходимости супервизорного контроля со стороны человека.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. FAW: Impact Assessment and Global Action Plan for FAW Control/Committee on Agriculture. Twenty-seventh session. Internet resource. URL: <https://www.fao.org/3/nd419en/nd419en.pdf>. (In Russian)
2. López-Sánchez A., Luque-Badillo A. et al. Food loss in the agricultural sector of a developing country: Transitioning to a more sustainable approach. The case of Jalisco, Mexico. *Environmental Challenges*. Vol. 5. 2021. 100327. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100327>.
3. Nørremark M., Griepentrog H. W., Nielsen J. et al. The development and assessment of the accuracy of an autonomous GPS-based system for intra-row mechanical weed control in row crops. *Biosystems Engineering*. 2008. 101(4). Pp. 396–410.
4. Bakker T., Van Asselt K., Bontsema J. et al. Path following algorithm for mobile robots. *Autonomous Robots*. 2010. 29(1). Pp. 85–97.
5. Sørensen C.G., Bochtis D.D. Conceptual model of fleet management in agriculture. *Biosystems Engineering*. 2010. 105(1). Pp. 41–50.
6. Gonzalez-de-Santos P., Ribeiro A., Fernandez-Quintanilla C. et al. Fleets of robots for environmentally-safe pest control in agriculture, *Precision Agriculture*. 2017. Vol. 18. Pp. 574–614.
7. RPLIDAR A1. Introduction and Datasheet / Slamtec. URL: [https://bucket-download.slamtec.com/d1e428e7efbdcd65a8ea111061794fb8d4ccd3a0/LD108\\_SLAMTEC\\_rplidar\\_datasheet\\_A1M8\\_v3.0\\_en.pdf](https://bucket-download.slamtec.com/d1e428e7efbdcd65a8ea111061794fb8d4ccd3a0/LD108_SLAMTEC_rplidar_datasheet_A1M8_v3.0_en.pdf)
8. GlobalSat BU-353s4 5Hz / GlobalSat. URL: [https://www.globalsat.ru/Sites/global/Uploads/BR-355s4\\_5Hz\\_user\\_manual\\_rus.DD2617926DCE4CAA914E766CF62CD629.pdf](https://www.globalsat.ru/Sites/global/Uploads/BR-355s4_5Hz_user_manual_rus.DD2617926DCE4CAA914E766CF62CD629.pdf)
9. JSN-SR04T-2.0. 20-600 cm Ultrasonic Waterproof Range Finder / Интернет-ресурс. URL: <https://www.jahankitshop.com/getattach.aspx?id=4635&Type=Product>
10. Sharp GP2Y0A21YK0F / Sharp. URL: [https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk\\_e.pdf](https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf)
11. Nagoev Z.V. *Intellektika, ili Myshleniye v zhivyykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intelligence, or thinking in living and artificial systems]. Nal'chik: Izdatel'stvo KBNTS RAN. 2013. 213 p. (In Russian)
12. Nagoev Z.V., Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A. et al. Autonomous synthesis of spatial ontologies in the decision-making system of a mobile robot based on the self-organization of a multi-agent neurocognitive architecture. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN* [News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS]. 2020. No. 6 (98). Pp. 68–79. DOI: 10.35330/1991-6639-2020-6-98-68-79. (In Russian)
13. Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O. et al. Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures. *Cognitive Systems Research*. 2021. Vol. 66. Pp. 82–188. ISSN 1389-0417. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2020.10.015>.
14. Nagoev Z.V. Multi-agent existential mappings and functions. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN* [News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS]. 2013. No. 4 (54). Pp. 198–208. (In Russian)

### Сведения об авторах

**Ксалов Арсен Мухарбиевич**, науч. сотр. отдела «Компьютерная лингвистика», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН; 360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а; [arsensal@gmail.com](mailto:arsensal@gmail.com)

**Бжихатлов Кантемир Чамалович**, канд. физ.-мат. наук, зав. лаб. «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН; 360002, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2; [haosit13@mail.ru](mailto:haosit13@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0924-0193>

**Пшенокова Инна Ауесовна**, канд. физ.-мат. наук, зав. лаб. «Интеллектуальные среды обитания», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

pshenokova\_inna@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3394-7682>

**Заммоев Аслан Узеирович**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360002, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;

zammoev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7966-3557>

MSC: 68T40

Original article

## DEVELOPMENT OF A TRANSPORT SUBSYSTEM FOR AUTONOMOUS ROBOTS FOR PLANT PROTECTION SYSTEM\*

А.М. КСАЛОВ<sup>1</sup>, К.Ч. ВЖИХАТЛОВ<sup>2</sup>, И.А. ПШЕНОКОВА<sup>1</sup>, А.У. ЗАММОЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –  
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences  
360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street

<sup>2</sup> Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences  
360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street

**Annotation.** It is necessary to improve the efficiency of plant monitoring and protection processes to reduce pesticide inputs and reduce the chemical burden on the environment while maintaining the required level of food production. The task of designing, developing, testing and evaluating automated and robotic systems for effective weed and pest control aimed at reducing the use of chemicals, improving crop quality and improving the health and safety of industry workers is relevant. To effectively perform the task of monitoring the state of crops, it is necessary to develop a transport subsystem for an agricultural robot with a navigation and orientation system that provides autonomous movement across the field without the risk of damaging the plantings.

This article presents a block diagram of the transport platform of an autonomous agricultural robot, consisting of a set of sensors and effectors that provide orientation and navigation of the robot among the crops. A three-dimensional model of the location of sensors and effectors is also presented. A model of the transport platform control system based on the invariant of the neurocognitive multi-agent architecture is described. A program for the transport platform control system has been developed. It provides data collection and aggregation, messaging between the platform and the server, as well as displaying data on the user's screen. The proposed architecture of the transport subsystem will allow autonomous movement of robots in a partially observed non-deterministic environment over sufficiently long distances without the need for human control.

**Keywords:** robot, agricultural monitoring, autonomous navigation, transport platform

The article was submitted 15.03.2022

Accepted for publication 11.04.2022

**For citation.** Ksalov A.M., Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A., Zammoev A.U. Development of a transport subsystem for autonomous robots for plant protection system. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN* [News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS]. 2022. No. 2 (106). Pp. 31–40. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-2-106-31-40

---

\* The work was supported by FASIE grant «Development of a prototype of an intelligent integrated expert system for active plant protection» (contract № 58ГС1ИИС12-D7/72187 dated 22.12.2021)

### Information about the authors

**Ksalov Arsen Mukharbievich**, Researcher, Department «Computational Linguistics», Institute of Computer Science and Problems of Regional Management, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

arsenksal@gmail.com

**Bzhikhatlov Kantemir Chamalovich**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory «Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems» of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360002, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

haosit13@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0924-0193>

**Pshenokova Inna Auesovna**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory «Intellectual habitats», Institute of Computer Science and Problems of Regional Management, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

pshenokova\_inna@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3394-7682>

**Zammoev Aslan Uzeirovich**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory «Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems» of the Kabardino-Balkarian Scientific Center;

360002, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

zammoev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7966-3557>