

**Цифровая экономика****ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ  
АКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ**

Статья рекомендована к публикации главным редактором Т.В. Ершовой 20.03.2023.

**Пшенокова Инна Ауесовна**

*Кандидат физико-математических наук  
Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Институт информатики и проблем регионального  
управления, заведующая лабораторией «Интеллектуальные среды обитания»  
Нальчик, Российская Федерация  
pshenokova\_inna@mail.ru*

**Бжихатлов Кантемир Чамалович**

*Кандидат физико-математических наук  
Кабардино-Балкарский научный центр РАН, заведующий лабораторией «Нейрокогнитивные  
автономные интеллектуальные системы»  
Нальчик, Российская Федерация  
haosit13@mail.ru*

**Ксалов Арсен Мухарбиевич**

*Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Институт информатики и проблем регионального  
управления, отдел «Компьютерная лингвистика», научный сотрудник  
Нальчик, Российская Федерация  
arsenksal@gmail.com*

**Заммоев Аслан Узеирович**

*Кандидат технических наук  
Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Институт информатики и проблем регионального  
управления, заведующий лабораторией «Бионаноробототехника»  
Нальчик, Российская Федерация  
zammoev@mail.ru*

**Аннотация**

*В статье представлена интеллектуальная система защиты растений на основе мультиагентного нейрокогнитивного подхода – формализма, имеющего функциональное сходство с нейроморфологической структурой головного мозга. Разработана программная модель системы принятия решений автономного робота для защиты растений, которая состоит их подсистем визуализации, перемещения, распознавания, принятия решений и управления манипуляторами. Каждая подсистема состоит из программных агентов нейронов. Представлена структура интеллектуальной системы активной защиты растений, а также процесс формирования мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры.*

**Ключевые слова**

*интеллектуальные системы; автономный робот; экспертная система защиты растений; мультиагентные архитектуры; когнитивный подход*

**Введение**

В сельском хозяйстве для получения лучшего результата важно точно и своевременно выявить болезни растений для недопущения распространения инфекционных болезней растений.

© Пшенокова И.А., Бжихатлов К.Ч., Ксалов А.М., Заммоев А.У., 2023

Производство и хостинг журнала «Информационное общество» осуществляется Институтом развития информационного общества.

Данная статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons «Атрибуция — Некоммерческое использование — На тех же условиях» Всемирная 4.0 (Creative Commons Attribution – NonCommercial - ShareAlike 4.0 International; CC BY-NC-SA 4.0). См. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode.ru>  
[https://doi.org/10.52605/16059921\\_2023\\_03\\_38](https://doi.org/10.52605/16059921_2023_03_38)

Диагностика, основанная на визуальных симптомах, часто неэффективно из-за неспособности дифференцировать аналогичные симптомы, вызванные патогенами растений и абиотическими фактами. Последние технологические достижения в области датчиков, машинного зрения, мехатроники, анализа больших данных и искусственного интеллекта позволили разработать и внедрить технологии дистанционного зондирования для быстрой идентификации и управления заболеваниями. Технологии раннего выявления заболеваний могут предсказать пространственное распределение вспышки заболевания для точной тактики лечения. Использование систем дистанционного зондирования, таких как спутниковые снимки, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и наземные платформы вместе с аналитикой больших данных и искусственным интеллектом, могут улучшить обнаружение и управление болезнями, оптимизировать агрохимические приложения, увеличить прибыль сельхозпроизводителей и уменьшить воздействие на окружающую среду. В настоящее время почти все системы интеллектуальной защиты растений строятся на основе искусственных нейронных сетей и глубокого обучения. Например, системы распознавания образов на основе изображений были разработаны для обнаружения вредителей и болезней, а также для целенаправленного распыления [1-3]. Роботизированные опрыскиватели могут снять текущую нагрузку на рабочую силу, улучшить производство сельскохозяйственных культур и трансформировать пищевую промышленность. Эти методы и интеллектуальные технологии достигли значительных улучшений во многих областях и привлекли значительный интерес как академических, так и промышленных сообществ. Так, например, в работе [4] эти методы используются в качестве инструментов дистанционного зондирования для выявления и оценки заболеваний, возникающих в течение сезона. В [5] применяются воздушные мультиспектральные снимки для обнаружения зараженных болезнью грушевых деревьев с использованием БПЛА. Методы дистанционного зондирования для выявления и предупреждения болезней используются также в работах [6-9]. Однако все эти методы не дают достаточно точного решения, когда имеют дело с реальными растениями, а не их фотографиями. Для обучения нейронной сети, в таком случае, необходимо подготовить информацию в понятном для нее формате, а это связано с использованием большого количества данных и огромных вычислительных мощностей.

В 2013 году в работе [10] Нагоевым З.В. был введен формализм для проектирования интеллектуальных систем принятия решений и управления на основе мультиагентных когнитивных архитектур, который имеет функциональное сходство с нейроморфологической структурой головного мозга. В данной работе интеллектуальная система защиты растений проектируется на основе этого подхода. Мы считаем, что такой подход способен обеспечить точное определение заболевания или вредителей при работе с неструктурированными потоками данных с датчиков различной модальности. При этом процесс обучения мультиагентных нейрокогнитивных структур, в отличие от классических нейронных сетей, не требует предварительной разметки значительной обучающей выборки.

Цель работы: разработка интеллектуальной системы принятия решений для экспертной системы активной защиты растений.

Задача исследования: разработка программной модели системы принятия решений для сервиса активной защиты растений.

## **1 Программная модель системы принятия решений автономного робота**

В работе [11] представлена транспортная платформа автономного робота для системы активной защиты растений. На рис. 1 представлена программная модель системы принятия решений такого автономного робота. Программная модель состоит из пяти подсистем: визуализации, перемещения, распознавания, принятия решений и управления манипуляторами.

Основной функцией системы визуализации является анализ задания пользователя и визуализация данных. Система перемещения предназначена для построения маршрута движения с целью мониторинга состояний посевов и управления транспортной платформой. Система распознавания находит объекты и выявляет возможные угрозы. Концепция системы распознавания представлена в работе [12]. В качестве тестового растения была рассмотрена кукуруза, поскольку она занимает лидирующее положение в структуре посевных площадей Кабардино-Балкарской Республики, что в дальнейшем позволит упростить внедрение и открытое тестирование разрабатываемой системы принятия решений. По результатам распознавания система принятия

решений моделирует состояние посевов. Выделяет текущее состояние, оценивает степень угрозы, подбирает метод защиты и моделирует планируемое состояние. Например, при мониторинге состояния посевов кукурузы, система распознавания выделяет на кадре сами растения, фон, признаки заболеваний, вредителей и сорняков, а система принятия решений при необходимости подбирает наиболее эффективный состав рабочей жидкости для обработки зарожде́нного участка. Полученные данные поступают в систему управления манипулятором для обработки растений, обеспечивающую непосредственную обработку нужным составом.

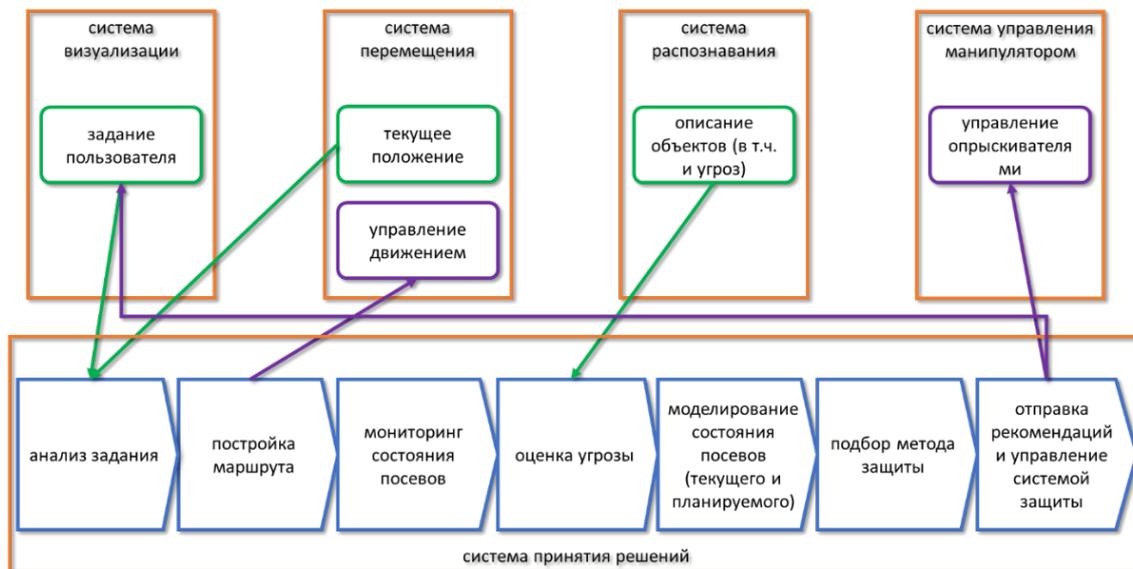


Рис. 1. Программная модель системы принятия решений

На рис. 2 представлен алгоритм работы системы принятия решений автономного робота для активной защиты растений.

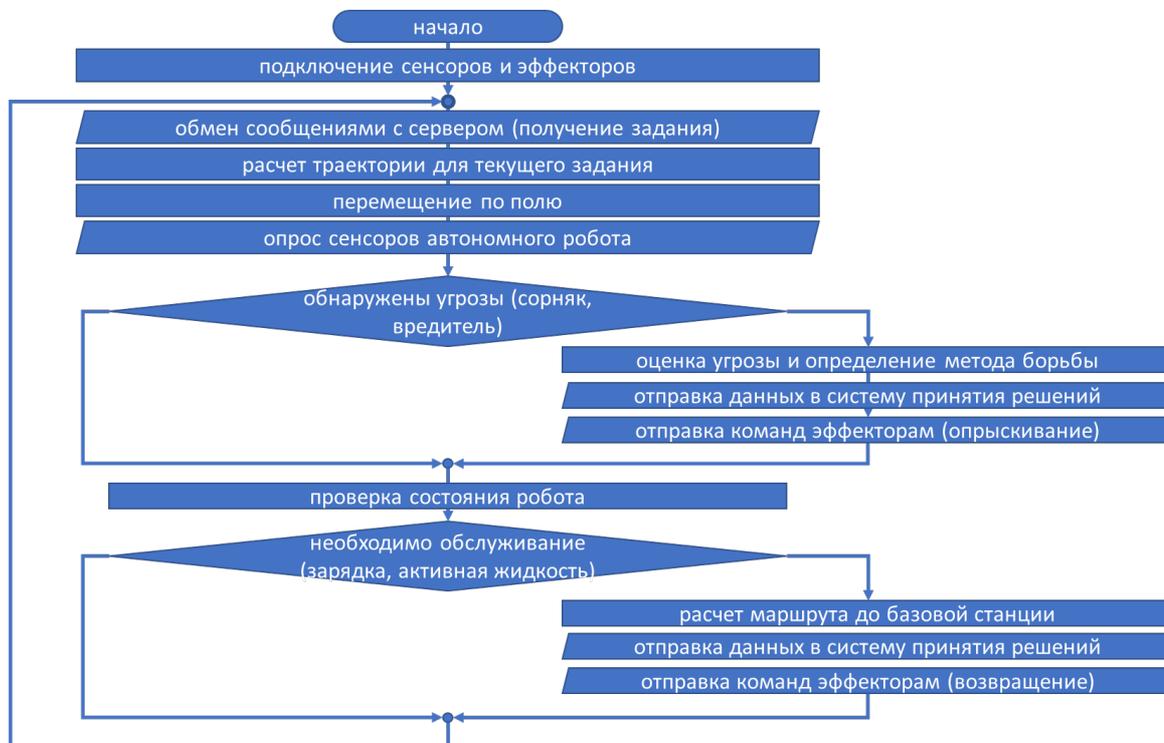


Рис. 2. Алгоритм работы системы принятия решений автономного робота

## 2 Архитектура интеллектуальной системы активной защиты растений

Интеллектуальная системы защиты растений имеет клиент-серверную структуру. Клиентская часть развернута на робототехнической платформе, автономной метеостанции и персональном компьютере пользователя. Серверная часть (ядро) представляет собой программный комплекс, обеспечивающий работу нейрокогнитивных архитектур в мультиагентной среде. Под мультиагентной средой понимается программное обеспечение, которое предназначено для работы интеллектуальных агентов и обладающая интерфейсами для работы с сетью, файловыми системами и базой данных. Структура системы представлена на рис. 3.

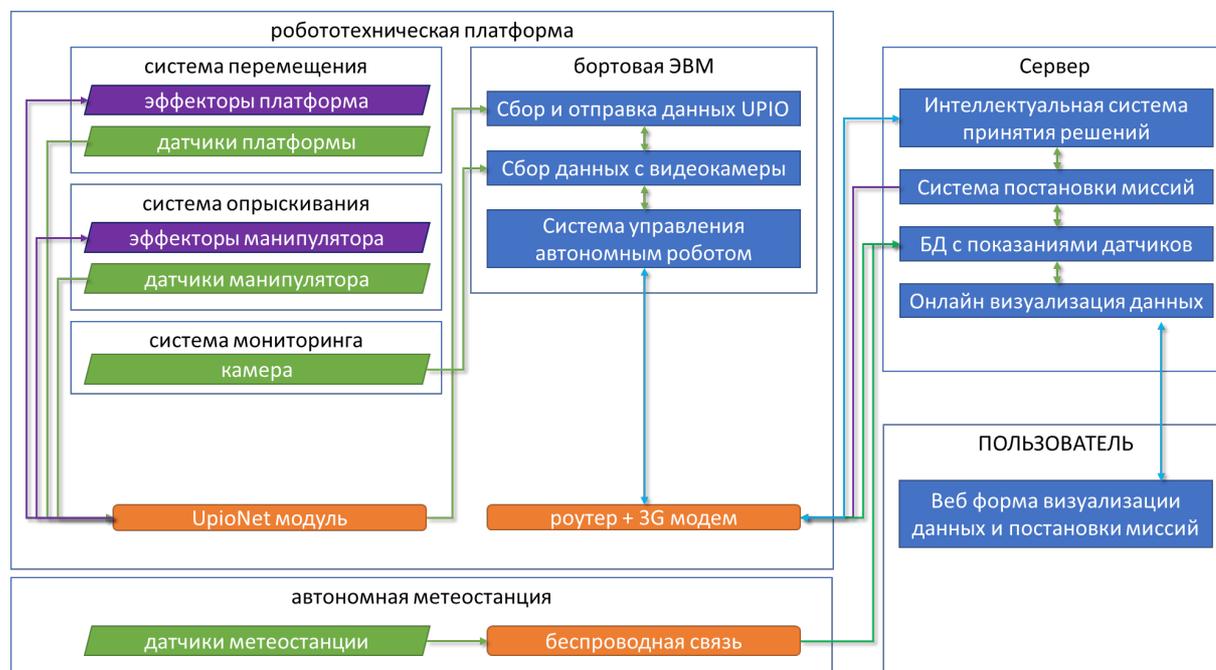


Рис. 3. Структура интеллектуальной системы активной защиты растений

Мультиагентная нейрокогнитивная архитектура, названная в [13] интеллектуальным агентом, как было отмечено выше, согласно нашей гипотезы имеют функциональное сходство со структурой головного мозга. Интеллектуальный агент имеет многослойную структуру, в которой каждый слой реализует некоторую когнитивную функцию и состоит из агентов нейронов (агнейронов) определённого типа. Главной целевой функцией агнейронов является поиск пути в дереве решений, который приводит к максимизации собственной энергии. Энергия – абстрактная величина, которую агенты могут получить, заключая и реализуя мультиагентные контракты. Контракт – это алгоритм, согласно которому агенты взаимодействуют друг с другом. Взаимодействие происходит путем обмена сообщениями, в соответствии со своими базами знаний. Знания представляют собой продукционные правила, содержащие текущее и желаемое состояние агнейрона, а также действие, которое необходимо совершить для перехода из одного состояния в другое. Система рекурсивная, поэтому каждый агнейрон состоит из агентов акторов, взаимодействие которых происходит по тем же принципам. Интеллектуальный агент воспринимает информацию через систему сенсоров, а от них соответствующим агнейронам определённого типа. Если в архитектуре нет агентов, отвечающих за поступившую информацию, он создаётся по требованию специальными нейронами фабриками (нейрофабрики).

Входные графические образы, проходя через обработку по правилам баз знаний агнейронов системы распознавания, сегментируются на части, которые интеллектуальный агент затем интерпретирует как концепты, которые формируют мультиагентные факты в виде событийных агнейронов. События, попадая на вход эмоциональных агнейронов получают оценку, согласно которой ставится цель, т.е. формируется желаемое состояние и моделируется план действий, приводящий к конечному состоянию. Эти данные попадают на вход агнейрона управления и через систему эффекторов передается на манипуляторы автономного робота.

Рассмотрим подробнее процесс формирования мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры интеллектуальной системы активной защиты растений. На вход интеллектуальной

системы с датчиков транспортной платформы поступает изображение сельскохозяйственной культуры (в нашем случае кукурузы) (рис. 4).

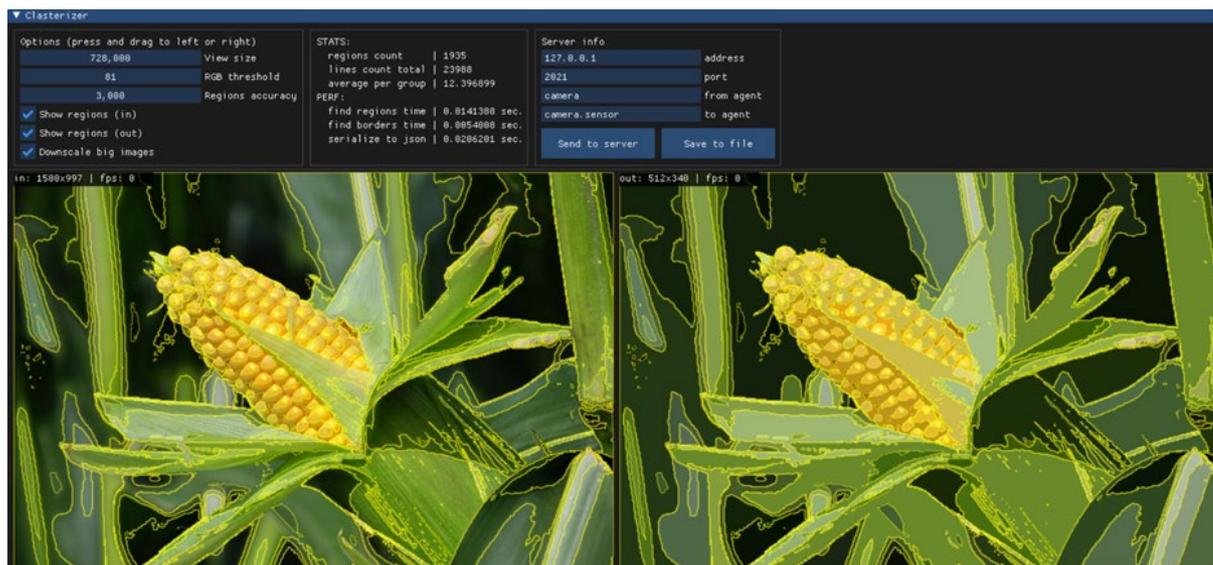


Рис. 4. Система распознавания образов интеллектуального агента

Данное изображение, после предварительной обработки, отправляется в интеллектуальную систему в виде сообщений для соответствующих агентов, отвечающих за зрительные сенсоры. Полученный набор сообщений (описание изображение) интерпретируется агентами системы распознавания образов как связанные между собой концепты - отрезок, вершина, угол и др. Концепты передают информацию на нейрофабрику для порождения агента типа объект. Поскольку интеллектуальный агент изначально не может распознать объект на изображении, запускается процесс обмена сообщениями с экспертом, в результате которого формируется связь между визуальными концептами и понятием (в нашем случае, это понятие «кукуруза»).

Для полноценного обучения интеллектуального агента подготовлена незначительная выборка изображений посевов кукурузы, причем как здоровых растений, так и растений с различной степенью поражения пузырчатой головней и совкой обыкновенной. Стоит отметить, что предусматривается непрерывное дообучение системы распознавания за счет возможности отправлять сообщения эксперту при обнаружении незнакомых объектов на поле. В результате подобной обработки изображений в мультиагентной архитектуре создается агент, отвечающий за внешний вид основных объектов на поле (междурядье, кукуруза, початок, лист, гусеница, бабочка, грибница на кукурузе).

После обучения агента, при получении изображения на входе, агент передает информацию на следующий уровень когнитивной архитектуры, где дается оценка наступившему событию. Если на объекте нет признаков заражения, то дается позитивная оценка, в противном случае - негативная. В зависимости от оценки формируется желаемое событие, для достижения которого формируется агент цели. Допустим, если поступила информация о частичном поражении кукурузы, агент формирует цель - избежать распространения заболевания. Для этого формируется агент синтеза плана действий, который отвечает за набор необходимых действий для устранения заражения (уточнить положение зараженных растений, загрузить состав для обработки растений, переместиться в нужный участок поля и опрыскать зараженные и соседние растения, проанализировать результат распыления пестицида). Синтезированный план действий передается на управляющий агент, который, в свою очередь, передает информацию пользователю и на соответствующие манипуляторы робота. На рис. 5 приведен скриншот описанной мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры, имеющей многослойную структуру и состоящей из агентов разных типов, реализующих когнитивные узлы распознавания, оценки, цели, синтеза плана действий и управления.

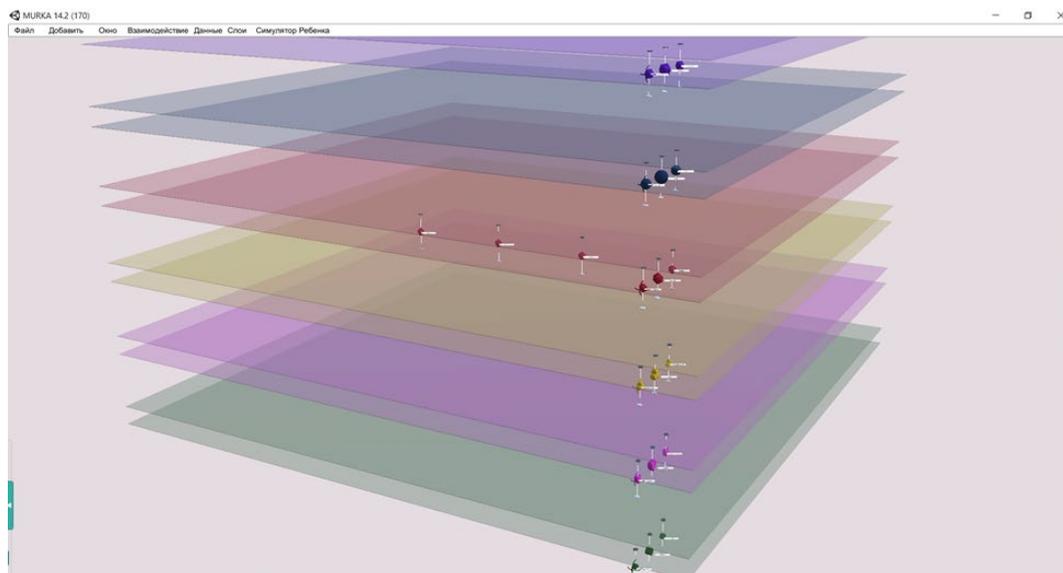


Рис. 5. Мультиагентная нейрокогнитивная архитектура интеллектуальной системы активной защиты растений

С целью оценки применимости были проведены испытание интеллектуальной системы активной защиты растений в полевых условиях (на посевах среднеспелой кукурузы). Система принятия решений и управления отвечает за мониторинг растений (распознавание пораженных растений), после чего формирует синтезированный план действий, необходимый для устранения заболевания. Для оценки системы распознавания обрабатывались изображения здоровой кукурузы и кукурузы с признаками заболеваний (пузырчатой головни) и наличием вредителей (совка обыкновенная). Точность распознавания угроз оценивалась как отношение верных срабатываний системы распознавания к общему количеству изображений. Оценка проводилась в поле при стационарной съемке початка с камеры на автономном роботе. При различных запусках значения точности распознавания составило 80%. Для повышения точности распознавания необходимо увеличить обучающую выборку и на основе экспертной оценки путем самоорганизации нейрокогнитивной архитектуры изменить продукционные правила в базах знаний агентов.

При этом стоит отметить, что тестирование выявило некоторое замедление процесса распознавания изображений, вызванное недостаточной надежностью интернет-канала между роботом и сервером. Кроме того, работа системы распознавания невозможна в темное время суток, из-за отсутствия системы освещения на транспортной платформе, описанной в работе [11]. Дальнейшая работа предполагает устранение представленных недостатков и расширение функционала интеллектуальной системы, в частности реализацию возможности подбора пестицидов с учетом не только заболевания, но и внешних условий (данных с внешней метеостанции и информации о сроке созревания кукурузы).

В результате проведенных испытаний можно сделать вывод о пригодности прототипа интеллектуальной системы активной защиты растений для выполнения задач мониторинга состояния и защиты посевов не только кукурузы, но и различных сельскохозяйственных культур.

## Заключение

В статье представлена интеллектуальная система защиты растений на основе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры. На основе формализма мультиагентных когнитивных архитектур разработана программная модель системы принятия решений автономного робота для защиты растений, которая состоит из пяти подсистем: визуализации, перемещения, распознавания, принятия решений и управления манипуляторами. Каждая подсистема состоит из программных агентов нейронов. Поведение, синтезируемое агентами, интерпретируется как путь в дереве решений, который приводит к максимизации собственной энергии. Представлена агент-серверная структура интеллектуальной системы активной защиты растений, а также процесс формирования мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры. В качестве сельскохозяйственной культуры для проведения тестирования системы была взята кукуруза, так как она составляет большую долю выращиваемых зерновых культур в Кабардино-Балкарской республике. В результате проведенных

испытаний можно сделать вывод о пригодности прототипа интеллектуальной системы активной защиты растений для выполнения задач мониторинга состояния и защиты посевов не только кукурузы, но и различных сельскохозяйственных культур. При этом тестирование выявило недостатки предложенной клиент-серверной архитектуры и конструкции транспортной платформы.

## Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Фонда содействия инновациям «Разработка прототипа интеллектуальной интегрированной экспертной системы активной защиты растений» (Договор № 58ГСИИИС12-D7/72187 от 22.12.2021).

## Литература

1. Lu, J. Z., Ehsani, R., Shi, Y. Y., de Castro, A. I., and Wang, S. Detection of multi-tomato leaf diseases (late blight, target and bacterial spots) in different stages by using a spectral-based sensor // *Sci. Rep.* 8:2793, 2018. doi: 10.1038/s41598-018-21191-6
2. Abdulridha, J., Ehsani, R., Abd-Elrahma, A., and Ampatzidis, Y. A remote sensing technique for detecting laurel wilt disease in avocado in presence of other biotic and abiotic stresses // *Comput. Electron. Agric.*, 2019. V. 156. Pp. 549–557. doi: 10.1016/j.compag.2018.12.018
3. He, X., Fang, K., Qiao, B., Zhu, X. H., and Chen, Y. N. Watermelon Disease Detection Based on Deep Learning // *Int. J. Pattern Recogn. Artificial Intelligence*, 2021. V. 35(5), 2152004. doi: 10.1142/s0218001421520042
4. Immerzeel, W. W., Gaur, A., and Zwart, S. J. Integrating remote sensing and a process-based hydrological model to evaluate water use and productivity in a south Indian catchment // *Agric. Water Manag.* V. 95, 2008. Pp. 11–24. doi: 10.1016/j.agwat.2007.08.006
5. Bagheri, N. Application of aerial remote sensing technology for detection of fire blight infected pear trees // *Comput. Electron. Agric.* 168:105147, 2020. doi: 10.1016/j.compag.2019.105147
6. Wang, T. Y., Thomasson, J. A., Yang, C. H., Isakeit, T., and Nichols, R. L. Automatic Classification of Cotton Root Rot Disease Based on UAV // *Remote Sensing*, 2020. V. 12(8). <https://doi.org/10.3390/rs12081310>
7. Ye, H. C., Huang, W. J., Huang, S. Y., Cui, B., Dong, Y. Y., Guo, A. T., et al Recognition of Banana Fusarium Wilt Based on UAV // *Remote Sensing*, 2020. V. 12(6). doi: 10.3390/rs12060938
8. Saif, A. K., Dimiyati, K., Noordin, A. N. S., Mohd Shah, S., Alsamhi, H., and Abdullah, Q. Energy Efficient Tethered UAV Development in B5G for Smart Environment and Disaster Recovery // in 1st International conference on Emerging smart technology, IEEE, 2021. 10.1109/eSmarTA52612.2021.9515754
9. Abdulridha J., Ampatzidis Y., Qureshi J., Roberts P. Identification and Classification of Downy Mildew Severity Stages in Watermelon Utilizing Aerial and Ground Remote Sensing and Machine Learning // *Front. Plant Sci.*, 2022, Sec. Sustainable and Intelligent Phytoprotection <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.79101>
10. Нагоев З.В. Интеллектика, или мышление в живых и искусственных системах // Нальчик: Издательство КБНЦ РАН. 2013. 213 с.
11. 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
12. Бжихатлов К.Ч., Пшенокова И.А., Канкулов С.А., Ксалов А.М. Концепция системы распознавания образов для интеллектуальной системы защиты растений // В сборнике: Цифровая трансформация науки и образования. Сборник научных трудов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2022. С. 151-160.
13. Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., Sundukov Z. Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures // *Cognitive Systems Research.* 2021. V. 66. P. 82-88. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2020.10.015>

# INTELLIGENT DECISION-MAKING SYSTEM FOR ACTIVE CROP PROTECTION

## **Pshenokova, Inna Auesovna**

*Candidate of physical and mathematical sciences*

*Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management, head of laboratory "Smart living environments"*

*Nalchik, Russian Federation*

*pshenokova\_inna@mail.ru*

## **Bzhikhatlov, Kantemir Chamalovich**

*Candidate of physical and mathematical sciences*

*Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, head of laboratory "Neurocognitive autonomous intelligent systems"*

*Nalchik, Russian Federation*

*haosit13@mail.ru*

## **Ksalov, Arsen Muharbievich**

*Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management, Department of computer linguistics, researcher*

*Nalchik, Russian Federation*

*arsenksal@gmail.com*

## **Zammoev, Aslan Uzeyrovich**

*Candidate of technical sciences*

*Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management, head of laboratory "Bionanorobotics"*

*Nalchik, Russian Federation*

*zammoev@mail.ru*

## **Abstract**

*An intelligent plant protection system based on a multi-agent neurocognitive approach is presented in this article. A software model of the decision-making system of an autonomous robot for plant protection has been developed. It consists of subsystems of visualization, movement, recognition, decision making and manipulator control. Each subsystem consists of software agents. The article describes the structure of an intelligent system for active plant protection and the process of forming a multi-agent neurocognitive architecture.*

## **Keywords**

*intelligent systems; autonomous robot; plant protection expert system; multi-agent architectures; cognitive approach*

## **References**

1. Lu, J. Z., Ehsani, R., Shi, Y. Y., de Castro, A. I., and Wang, S. Detection of multi-tomato leaf diseases (late blight, target and bacterial spots) in different stages by using a spectral-based sensor // *Sci. Rep.* 8:2793, 2018. doi: 10.1038/s41598-018-21191-6
2. Abdulridha, J., Ehsani, R., Abd-Elrahma, A., and Ampatzidis, Y. A remote sensing technique for detecting laurel wilt disease in avocado in presence of other biotic and abiotic stresses // *Comput. Electron. Agric.*, 2019. V. 156. Pp. 549–557. doi: 10.1016/j.compag.2018.12.018
3. He, X., Fang, K., Qiao, B., Zhu, X. H., and Chen, Y. N. Watermelon Disease Detection Based on Deep Learning // *Int. J. Pattern Recogn. Artificial Intelligence*, 2021. V. 35(5), 2152004. doi: 10.1142/s0218001421520042
4. Immerzeel, W. W., Gaur, A., and Zwart, S. J. Integrating remote sensing and a process-based hydrological model to evaluate water use and productivity in a south Indian catchment // *Agric. Water Manag.* V. 95, 2008. Pp. 11–24. doi: 10.1016/j.agwat.2007.08.006
5. Bagheri, N. Application of aerial remote sensing technology for detection of fire blight infected pear trees // *Comput. Electron. Agric.* 168:105147, 2020. doi: 10.1016/j.compag.2019.105147

6. Wang, T. Y., Thomasson, J. A., Yang, C. H., Isakeit, T., and Nichols, R. L. Automatic Classification of Cotton Root Rot Disease Based on UAV // Remote Sensing, 2020. V. 12(8). <https://doi.org/10.3390/rs12081310>
7. Ye, H. C., Huang, W. J., Huang, S. Y., Cui, B., Dong, Y. Y., Guo, A. T., et al Recognition of Banana Fusarium Wilt Based on UAV // Remote Sensing, 2020. V. 12(6). doi: 10.3390/rs12060938
8. Saif, A. K., Dimiyati, K., Noordin, A. N. S., Mohd Shah, S., Alsamhi, H., and Abdullah, Q. Energy Efficient Tethered UAV Development in B5G for Smart Environment and Disaster Recovery // in 1st International conference on Emerging smart technology, IEEE, 2021. 10.1109/eSmarTA52612.2021.9515754
9. Abdulridha J., Ampatzidis Y., Qureshi J., Roberts P. Identification and Classification of Downy Mildew Severity Stages in Watermelon Utilizing Aerial and Ground Remote Sensing and Machine Learning // Front. Plant Sci., 2022, Sec. Sustainable and Intelligent Phytoprotection <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.79101>
10. Nagoev Z.V. Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах [Intellectics, or thinking in natural and artificial systems]. Nal'chik: Izdatel'stvo KBNTS RAN [KBSC RAS Publishing house]. 2013. 211 p.
11. 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
12. Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A., Kankulov S.A., Ksalov A.M. Kontseptsiya sistemy raspoznavaniya obrazov dlya intellektual'noy sistemy zashchity rasteniy [The concept of a pattern recognition system for an intelligent plant protection system. Scientific and practical conference] // Tsifrovaya transformatsiya nauki i obrazovaniya. Sbornik nauchnykh trudov III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem [Digital transformation of science and education]. 2022. p. 151-160.
13. Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., Sundukov Z. Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures // Cognitive Systems Research. 2021. V. 66. P. 82-88. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2020.10.015>