

УДК 004.8

DOI: 10.35330/1991-6639-2021-4-102-28-37

MSC: 68T42/2020

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СХВАТОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ ОБУЧЕНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ НЕЙРОКОГНИТИВНЫХ АРХИТЕКТУР*

З.В. НАГОЕВ¹, И.А. ПШЕНОКОВА², К.Ч. БЖИХАТЛОВ¹, С.А. КАНКУЛОВ²

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр
«Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук»
360002, КБР, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2
E-mail: kbncran@mail.ru

²Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр
«Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук»
360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а
E-mail: iipru@rambler.ru

Проблема повышения эффективности производства и уборки плодоовощной и ягодной продукции привела к необходимости разработки технологий безлюдной уборки плодоовощной продукции. Важнейшей задачей при проектировании сельскохозяйственного робота является задача автоматического неповреждающего отделения продукции от посадок сочноплодовых культур. В работе представлен прототип антропомиметического манипулятора, который спроектирован в виде руки человека. Разработана имитационная модель интеллектуальной системы управления схватом сельскохозяйственного антропомиметического манипулятора. Система управления представляет собой распределенную адаптивную обучающуюся автоматическую систему (интеллектуальный агент) на основе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры. Представлен процесс приобретения интеллектуальным агентом знаний, необходимых для исследования системы «манипулятор робота – объект воздействия», в частности, процесс установки и отслеживания угла поворота сочленения пальцев схвата, а также контроль натяжения тросов и нагрузки двигателей по данным с сенсорной системы сельскохозяйственного робота.

Результаты данного исследования могут быть применены для разработки систем управления манипулятором автономных роботов и робототехнических комплексов сельскохозяйственного назначения.

Ключевые слова: автономный робот, сельскохозяйственный манипулятор, интеллектуальные системы управления, мультиагентные системы, нейрокогнитивная архитектура.

Поступила в редакцию 12.08.21

Для цитирования. Нагоев З.В., Пшенокова И.А., Бжихатлов К.Ч., Канкулов С.А. Имитационная модель интеллектуальной системы управления схватом сельскохозяйственного манипулятора на основе обучения мультиагентных нейрокогнитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 4(102). С. 28-37.

1. ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение населения высококачественными и экологически чистыми продуктами питания напрямую связано с проблемой повышения эффективности производства и уборки плодоовощной и ягодной продукции. Низкая эффективность применения традицион-

* Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 19-01-00648 А

ных технологий уборки урожая на основе полностью ручных или частично механизированных операций привела к необходимости разработки технологий безлюдной уборки плодоовощной продукции [1–3]. В [4] приведен обзор рынка существующих сельскохозяйственных роботов, а в [5] проведен анализ подходов, предназначенных для решения задач распознавания, принятия решения и управления роботизированным сбором плодоовощной продукции в сельском хозяйстве.

Важнейшей задачей при проектировании сельскохозяйственного робота является задача автоматического неповреждающего отделения продукции от посадок сочноплодовых культур. Такая задача предъявляет высокие требования к кинематическим, динамическим и технико-эксплуатационным характеристикам манипулятора для взаимодействия робота с посадками и продукцией, такие как:

- элементы конструкции манипулятора должны быть компактными, чтобы обеспечить неповреждающее погружение в посадки;
- средние скорости перемещения эффектора манипулятора должны обеспечивать необходимую производительность робота;
- ускорения движения эффектора не должны вызывать опасных для продукции перегрузок;
- покрытия на контактирующих с продукцией элементах эффектора не должны вызывать опасных концентраций нагрузок на поверхности продукции и т.п.

Исходя из указанных требований в данной работе в качестве прототипа представлен антропомиметический манипулятор, который спроектирован в виде руки человека (рис. 1). Манипулятор имеет три сочленения и снабжен пятипалым хватом. Плечевое сочленение имеет три ограниченные степени свободы. Локоть робота имеет одну степень свободы, а пясть – две. Для обеспечения проприоцепции манипулятора на каждой степени свободы установлены датчики угла поворота (энкодеры). Подобная кинематическая схема позволит обеспечить максимальную область активной работы манипулятора. Стоит отметить, что хват манипулятора покрывается гибким покрытием из пластика.

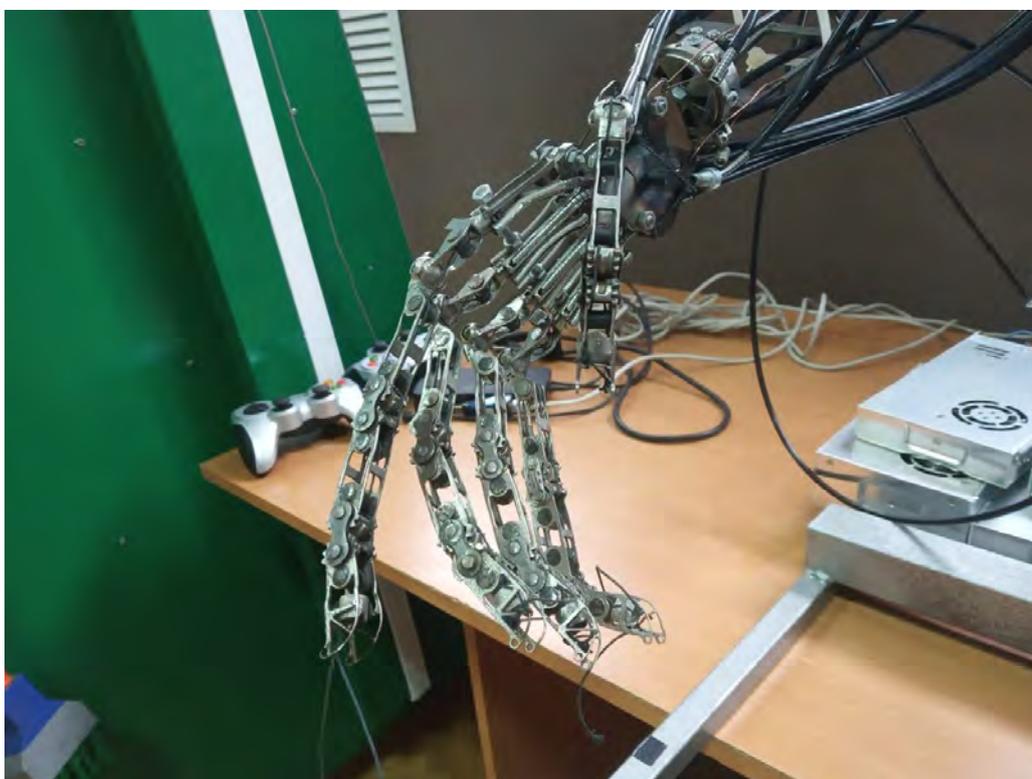


Рис. 1. Антропомиметический манипулятор автономного сельскохозяйственного робота

Схват манипулятора выполнен в виде кисти человека и имеет пять пальцев, каждый из которых имеет 3 сочленения. Схема пальца манипулятора приведена на рисунке 2. Все элементы манипулятора приводятся гибкими тросами, причем каждый палец приводится парой серводвигателей (5), работающих по схеме приводов-антагонистов, что позволяет контролировать не только положение, но и степень жесткости конструкции. Сенсорная система манипулятора робота включает в себя экстероцепторы касания и давления, пьезоэлектрические датчики для определения типа поверхности, до которой дотрагивается робот, датчики температуры на каждой из четырех фаланг (1) каждого из пяти пальцев. На каждом шарнире между фалангами пальцев кистей робота установлены датчики изгиба (4). Кроме того, сенсорная система пальцев включает датчики тока (6) для определения нагрузки электродвигателя.

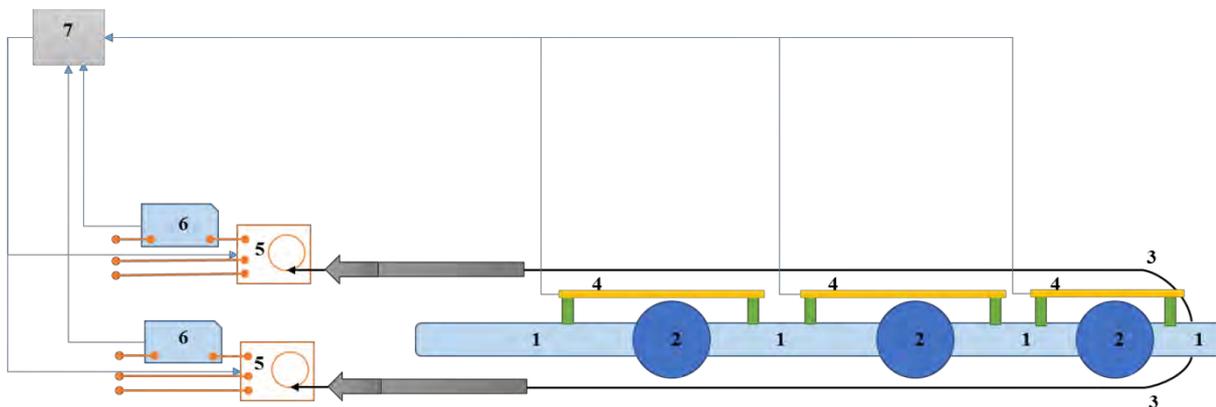


Рис. 2. Структурная схема отдельного пальца антропомиметического манипулятора автономного сельскохозяйственного робота: 1 – фаланги, 2 – сочленения, 3 – тросовые приводы, 4 – датчики изгиба, 5 – сервоприводы, 6 – датчики тока, 7 – система управления

Представленная схема схвата манипулятора сельскохозяйственного робота позволяет обеспечить выполнение любых операций, доступных человеку. В частности, антропомиметический пятипалый схват обеспечивает возможность использовать сельскохозяйственные инструменты, предназначенные для человека. Кроме того, наличие двигателей-антагонистов позволяет регулировать степень сжатия кисти и взаимодействовать с хрупкими предметами, например, собирать урожай.

Автоматизацию обнаружения продукции, наведения манипулятора на продукцию, ее захват, отделение и транспортировку в контейнер без повреждений обеспечивает адаптивная самообучаемая система управления схвата манипулятора на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур.

Объектом исследования является когнитивная функция управления.

Предметом исследования является изучение возможности создания адаптивной самообучаемой системы управления на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур.

Цель исследования – разработка адаптивной системы управления антропомиметическим манипулятором автономного сельскохозяйственного робота.

Задача исследования – разработать мультиагентную модель когнитивной функции управления сельскохозяйственного манипулятора на основе обучения нейрокогнитивных архитектур.

2. АДАПТИВНАЯ САМООБУЧАЕМАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СХВАТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ НЕЙРОКОГНИТИВНЫХ АРХИТЕКТУР

Система управления схватом сельскохозяйственного манипулятора представляет собой распределенную адаптивную обучающуюся автоматическую систему (интеллектуальный агент) на основе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры.

В [6] предложена вычислительная абстракция нейрокогнитивной архитектуры. Она состоит из взаимосвязанных функциональных узлов. Каждый узел в свою очередь состоит из наборов специализированных рациональных программных агентов, которые взаимодействуют друг с другом посредством отправки сообщений с целью максимизации локальных целевых функций энергии. Так как агенты обладают функциональным сходством с нейронами головного мозга, такие агенты называются агентами-нейронами, или агнейронами [7]. Энергия – это мера активности агента, определяется в произвольной шкале от нуля до заданного максимального значения, которое агент может накапливать в своем «энергетическом резервуаре». Энергия тратится агентом на поддержание жизнедеятельности и отправки сообщений другим агентам для оплаты «контрактов». Контракт – это алгоритм взаимодействия между агентами, который состоит в обмене информацией, обладающей одним агентом, на некоторое количество энергии, передаваемой за ее покупку другим агентом. Агенты заключают и расторгают контракты друг с другом на основе т.н. валентностей. Под валентностью понимается способность агента найти контрагента и заключить с ним контракт в соответствии с заданным типом протокола взаимодействия [8].

Совместная работа агентов в составе интеллектуального агента направлена на синтез субоптимального, по критерию максимизации энергии, пути в графе состояний на временной период в будущем, вплоть до горизонта планирования. Процесс приобретения интеллектуальным агентом знаний при обнаружении и захвате манипулятором овощей и фруктов должен быть ориентирован на исследование системы «манипулятор робота – объект воздействия» в части возможности реализации целевого функционала этого интеллектуального агента.

Изначально для интеллектуального агента манипулятор является незнакомым объектом, он не знает ни его габаритов, ни составляющих его объектов. Поэтому на первом этапе интеллектуальный агент должен понять условие задачи и критерий достижения целевого функционала. Для этого необходимо знать, из каких объектов состоит манипулятор, какие данные поступают с сенсоров, какие эффекторы управляют манипулятором и как нужно изменить эти данные для выполнения поставленной миссии.

На втором этапе интеллектуальный агент должен синтезировать способ изменения положений пальцев манипулятора с учетом существенных условий и ограничений, накладываемых конструкцией манипулятора и характеристиками тросового привода. В частности, все сочленения пальцев имеют ограничения угла поворота (от -15° до 170° относительно предыдущей фаланги). Кроме того, интеллектуальный агент должен отслеживать предельные нагрузки на трос и превышение тока серводвигателей. Для этих целей в цепи питания каждого двигателя манипулятора установлен датчик тока, позволяющий среагировать на превышение допустимой нагрузки и предотвратить обрыв троса или выход из строя двигателя. Для того чтобы определить средовые условия, интеллектуального агента связали с антропомиметическим манипулятором сельскохозяйственного робота, определив способы их взаимного влияния друг на друга через систему сенсоров и эффекторов.

Благодаря сенсорной системе агент имеет возможность получить описание объекта в виде набора сигнатур, которые генерируются сенсорами с помощью внутренних алгоритмических процедур и передаются агенту через так называемые агенты-акторы. Актеры рассылают символьные сигнатуры в качестве сообщения концептуальным агентам-нейронам, отвечающим за выполнение функции концептуализации наблюдаемой среды на основе потоков входных данных. В работах [9, 10] показано, что при использовании механизма валентностей между агентами-нейронами в составе нейрокогнитивной архитектуры вырабатывается мультиагентный алгоритм динамического построения интерпретации семантики некоторого объекта или наблюдаемого интеллектуальным агентом события.

В [6] представлен принцип автоматического формирования онтологического обеспечения процессов интеллектуального принятия решений и управления, в соответствии с которым агенты-нейроны понятия порождаются в составе нейрокогнитивной архитектуры по требованию при помощи так называемых нейронных фабрик (нейрофабрика) (рис. 3). Нейрофабрики (изображены на нижнем слое нейрокогнитивной архитектуры) предназначены для создания новых агентов-нейронов в функциональных узлах нейрокогнитивной архитектуры, которые являются обработчиками нового знания, поступающего в систему в виде сообщений от агентов-акторов. Нейрофабрика, создавая агента, подгружает в него алгоритмы и знания, которые характерны для агентов-нейронов определенного типа. Знания представляют собой продукции, условная часть которых определяет начальную и конечную ситуацию, а ядро – действие, которое переводит агента из начальной (стартовой) в конечную (желаемую) ситуацию. На рисунке 3 изображено окно 3D-моделирования системы автоматизированного проектирования интеллектуального агента на основе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры [11].

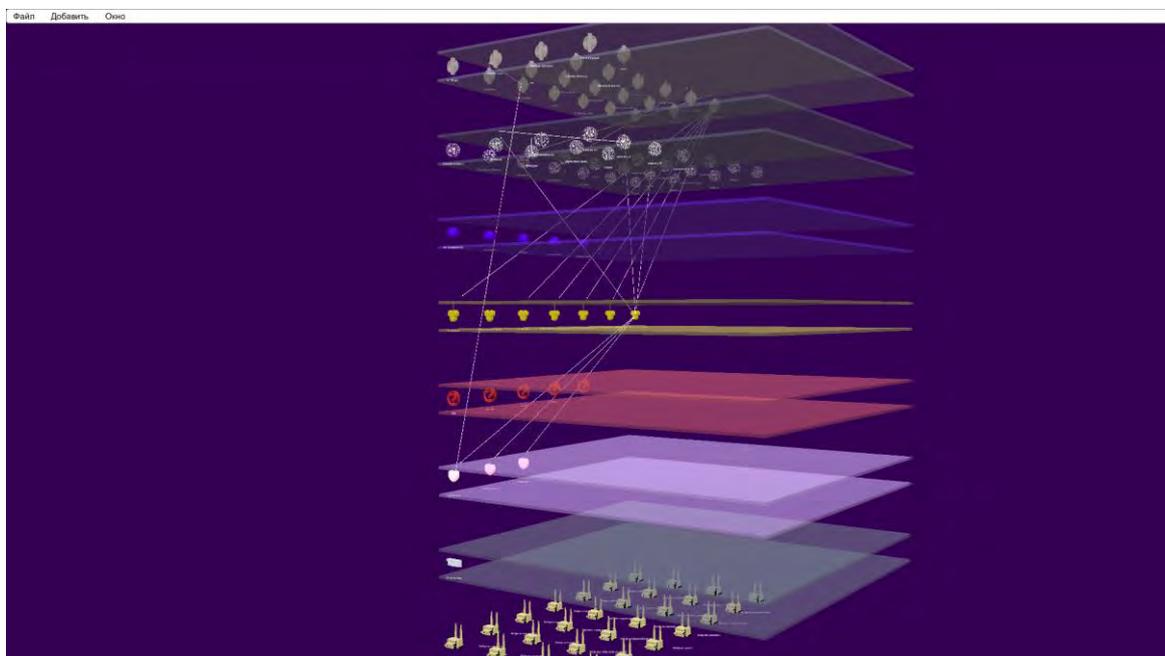


Рис. 3. Имитационная модель процесса идентификации и оценки ситуаций интеллектуальным агентом с помощью мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры

На втором слое рисунка 3 представлены агенты-нейроны концептуальных понятий, которые создались нейрофабриками в результате распознавания данных, поступивших с

сенсорной системы манипулятора сельскохозяйственного робота (первый слой на рисунке). Результатом работы второго слоя агентов будет некоторое распознанное событие (представлено в виде трилистника), которое представляется в виде функциональных зависимостей между концептуальными агентами и агентами – событиями \mathfrak{N}_i^j , где i – имя агента, j – тип агента (на рисунке изображены линиями).

На следующем слое происходит оценка полученного события агентами-нейронами событий (изображены в виде сердечек). Эти агенты-оценки согласно правилам, имеющимся в их базах знаний, констатируют наличие или отсутствие «проблемной ситуации», способной привести к потере или приобретению энергии.

После оценки событий между событийными агентами-нейронами строится причинно-следственная зависимость (рис. 4).

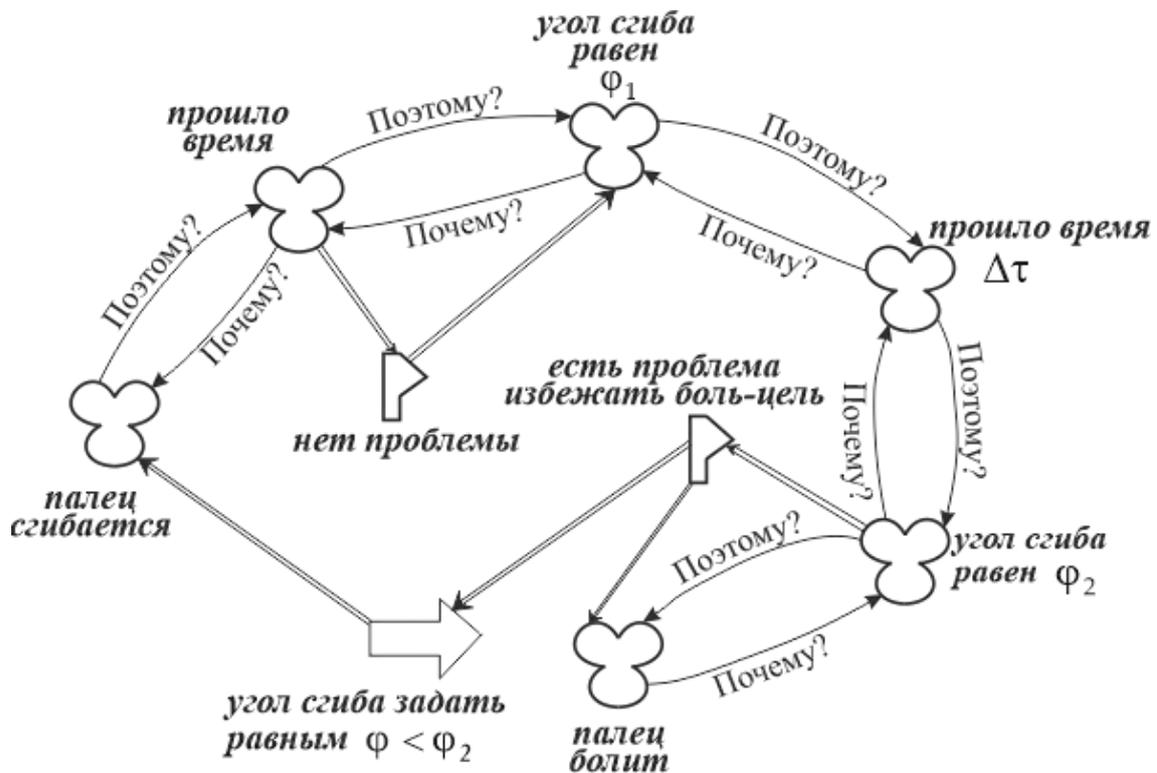


Рис. 4. Причинно-следственная связь между событиями, построенная ИА

На пятом слое рисунка 3 изображены целевые агенты-нейроны, функционал которых состоит в поиске начального и конечного состояния при реализации интеллектуальным агентом дерева решений для разрешения проблемной ситуации, идентифицированной агентами-нейронами предыдущих слоев нейрокогнитивной архитектуры.

На седьмом слое изображены агенты-нейроны планировщики, функциональное назначение которых состоит в формировании плана действий, необходимых к исполнению. Данные от агента-планировщика поступают на систему управления действиями интеллектуального агента для передачи необходимых команд через эффекторы к двигателям сельскохозяйственного манипулятора.

Интеллектуальный агент формирует базу знаний на основе построенной схемы, согласно которой может прогнозировать критическое значение угла поворота и в превентивном порядке остановить сгибание пальца путем уменьшения показателей датчиков.

Таким образом, на рисунке 3 представлена имитационная модель процесса приобретения интеллектуальным агентом знаний, необходимых для исследования системы «манипулятор робота – объект воздействия», в частности, процесс установки и отслеживания угла поворота сочленения пальцев схвата, а также контроль натяжения тросов и нагрузки двигателей по данным с сенсорной системы сельскохозяйственного робота.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлена имитационная модель когнитивной функции управления схватом сельскохозяйственного манипулятора на основе обучения мультиагентных нейрокогнитивных архитектур на примере управления пальцами антропомиметического манипулятора. Представлен процесс приобретения интеллектуальным агентом знаний, необходимых для исследования системы «манипулятор робота – объект воздействия», в частности, способ изменения положений пальцев манипулятора, с учетом существенных условий внешней среды и ограничений, накладываемых конструкцией манипулятора и характеристиками тросового привода.

Результаты данного исследования могут быть применены для разработки систем управления манипулятором автономных роботов и робототехнических комплексов сельскохозяйственного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агробот: Сельскохозяйственные роботы (agrobot.com). [Электронный ресурс] (дата обращения: 02.06.2021)
2. Vision Robotics Corporation. [Электронный ресурс]. <https://www.visionrobotics.com> (дата обращения: 02.06.2021)
3. Akhila Gollakota, M.V. Srinivas Agribot – A multipurpose agricultural robot // 2011 Annual IEEE India Conference 16-18 Dec. 2011, DOI: 10.1109/INDCON.2011.6139624
4. Шалова С.Х., Загазежева О.З. Обзор рынка сельскохозяйственных роботов и их влияние на экономическое развитие // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. № 7 (209). С. 57–70.
5. Пшенокова И.А., Анчёков М.И., Денисенко В.А. Формальная постановка задач интеллектуализации процесса роботизированного сбора плодоовощной продукции на основе применения мультиагентных нейронных сетей // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2017. № 6-2 (80). С. 191–196.
6. Нагоев З.В. Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах // Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2013. 213 с.
7. Нагоев З.В., Бжухатлов К.Ч., Пшенокова И.А., Нагоева О.В., Сундуков З.А., Аталиков Б.А., Чеченова Н.А., Малышев Д.А. Автономный синтез пространственных онтологий в системе принятия решений мобильного робота на основе самоорганизации мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2020. № 6 (98). С.68-79.
8. 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 - Elsevier. V. 66. P. 82–88.
9. Nagoev Z., Nagoeva O., Gurtueva I., Denisenko V. Multi-agent algorithms for building semantic representations of spatial information in a framework of neurocognitive architecture // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. T. 948. С. 379–386.

10. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V., Pshenokova I.A., Gurtueva I.A. Multi-agent model of semantics of simple extended sentences describing static scenes // Lecture notes in computer science 2019. С. 245–259.

11. Нагоев З.В., Сундуков З.А., Пшенокова И.А., Денисенко В.А. Архитектура САПР распределенного искусственного интеллекта на основе самоорганизующихся нейрокognитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2020. № 2 (94). С. 40–47.

REFERENCES

1. *Agrobot: Sel'skokhozyaystvennyye roboty* [Agrobot: Agricultural Robots]: [Elektronnyy resurs]. <https://www.agrobot.com/>

2. Vision Robotics Corporation: [Elektronnyy resurs]. <https://www.visionrobotics.com/>

3. Akhila Gollakota, M. B. Srinivas Agribot - A multipurpose agricultural robot // 2011 Annual IEEE India Conference 16-18 Dec. 2011, DOI: 10.1109/INDCON.2011.6139624

4. Shalova S.Kh., Zagazheva O.Z. *Obzor rynka sel'skokhozyaystvennykh robotov i ikh vliyaniye na ekonomicheskoye razvitiye* [Review of the agricultural robots market and their impact on economic development] // Izvestia SFU. Technical science. 2019. No. 7 (209). Pp. 57–70.

5. Pshenokova I.A., Anchokov M.I., Denisenko V.A. *Formal'naya postanovka zadach intellektualizatsii protsessa robotizirovannogo sbora plodoovoshchnoy produktsii na osnove primeneniya mul'tiagentnykh neyronnykh setey* [Formal setting of tasks for the intellectualization of the process of robotic harvesting of fruits and vegetables based on the use of multi-agent neural networks] // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS. 2017. No. 6-2 (80). Pp. 191–196.

6. Nagoev Z.V. *Intellektika, ili Myshleniye v zhivyykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intelligence, or thinking in living and artificial systems]. Nalchik: Publishing House KBSC RAS, 2013. 213 p.

7. Nagoev Z.V., Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A., Nagoeva O.V., Sundukov Z.A., Atalikov B.A., Chechenova N.A., Malyshev D.A. *Avtonomnyy sintez prostranstvennykh ontologiy v sisteme prinyatiya resheniy mobil'nogo robota na osnove samoorganizatsii mul'tiagentnoy neyrokognitivnoy arkhitektury* [Autonomous synthesis of spatial ontologies in the decision-making system of a mobile robot based on self-organization of multi-agent neurocognitive architecture] // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS. 2020. No. 6 (98). Pp. 68–79.

8. 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 - Elsevier. V. 66. Pp. 82–88.

9. Nagoev Z., Nagoeva O., Gurtueva I., Denisenko V. Multi-agent algorithms for building semantic representations of spatial information in a framework of neurocognitive architecture // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. V. 948. Pp. 379-386.

10. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V., Pshenokova I.A., Gurtueva I.A. Multi-agent model of semantics of simple extended sentences describing static scenes // Lecture notes in computer science. 2019. Pp. 245–259.

11. Nagoev Z.V., Sundukov Z.A., Pshenokova I.A., Denisenko V.A. *SAPR raspredelenogo iskusstvennogo intellekta na osnove samoorganizuyushchikhsya neyrokognitivnykh arkhitektur* [CAD architecture of distributed artificial intelligence based on self-organizing neurocognitive architectures] // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS. 2020. No. 2 (94). Pp. 40–47.

SIMULATION MODEL OF AN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR THE AGRICULTURAL GRIP MANIPULATOR BASED ON THE MULTI-AGENT NEUROCOGNITIVE ARCHITECTURES TRAINING*

Z.V. NAGOEV¹, I.A. PSHENOKOVA², K.CH. BZHIKHATLOV¹, S.A. KANKULOV²

¹ Federal public budgetary scientific establishment «Federal scientific center
«Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences»
360002, KBR, Nalchik, 2 Balkarova str.

E-mail: kbncran@mail.ru

² Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –
Branch of Federal public budgetary scientific establishment «Federal scientific center
«Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences»
360000, KBR, Nalchik, 37-a I. Armand str.

E-mail: iipru@rambler.ru

The problem of increasing the efficiency of production and harvesting of fruit, vegetable and berry products has led to the need to develop technologies for unmanned harvesting of fruit and vegetable products. The most important task in the design of an agricultural robot is the task of automatic non-damaging separation of products from plantings of fruit crops. The work presents a prototype of an anthropomimetic manipulator, which is designed in the form of a human hand. A simulation model of an intelligent control system for the grip of an agricultural anthropomimetic manipulator has been developed. The control system is a distributed adaptive learning automatic system (intelligent agent) based on a multi-agent neurocognitive architecture. The process of acquiring by an intelligent agent the knowledge necessary for studying the system "robot manipulator - object of influence" is presented, in particular, the process of setting and tracking the angle of rotation of the gripper fingers articulation, as well as controlling the tension of cables and the load of motors according to data from the sensor system of an agricultural robot.

The results of this study can be used to develop control systems for the manipulator of autonomous robots and robotic systems for agricultural purposes.

Keywords: autonomous robot, agricultural manipulator, intelligent control systems, multi-agent systems, neurocognitive architecture.

Received by the editors 12.08.21

For citation. Nagoev Z.V., Pshenokova I.A., Bzhikhatlov K.Ch., Kankulov S.A. Simulation model of an intelligent control system for the agricultural grip manipulator based on the multi-agent neurocognitive architectures training // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS. 2021. No. 4 (102). Pp. 28-37.

Сведения об авторах:

Нагоев Залимхан Вячеславович, к.т.н., председатель Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук.

360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а.

E-mail: zaliman@mail.ru.

Пшенокова Инна Ауесовна, к.ф.-м.н., зав. лабораторией «Интеллектуальные среды обитания» Института информатики и проблем регионального управления – филиала Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а.

E-mail: pshenokova_inna@mail.ru

* This work was supported by the RFBR project 19-01-00648 A

Бжихатлов Кантемир Чамалович, к.ф.-м.н., зав. лабораторией «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы» Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

360002, КБР, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2.

E-mail: haosit13@mail.ru

Канкулов Султан Ахмедович, стажер-исследователь лаборатории «Интеллектуальные среды обитания» Института информатики и проблем регионального управления – филиала Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а.

Email: skankulov@mail.ru

Information about the authors:

Nagoev Zalimhan Vyacheslavovich, Candidate of Technical Sciences, Chairman of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.

360000, KBR, Nalchik, 37-a I. Armand str.

E-mail: zaliman@mail.ru

Pshenokova Inna Auesovna, Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Head of the Laboratory «Intellectual Habitats» of the Institute of Computer Science and Problems of Regional Management of KBSC of the Russian Academy of Sciences.

360000, KBR, Nalchik, 37-a I. Armand str.

E-mail: pshenokova_inna@mail.ru

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

360002, KBR, Nalchik, 2 Balkarova str.

E-mail: haosit13@mail.ru

Kankulov Sultan Akhmedovich, trainee researcher of the Laboratory «Intellectual Habitats» of the Institute of Computer Science and Problems of Regional Management of the KBSC of the Russian Academy of Sciences.

360000, KBR, Nalchik, 37-a I. Armand str.

E-mail: skankulov@mail.ru