

# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ГЕТЕРОГЕННОГО ГРУППОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РОБОТОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УМНОГО САДА

**Р.В. Мещеряков, А.С. Широков**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация  
E-mail: mrv@ipu.ru*

**Аннотация.** Рассмотрена задача гетерогенного группового взаимодействия различных робототехнических комплексов воздушного и наземного базирования. Предложена концептуальная модель распределения задач между функционально разными робототехническими комплексами, предложена соответствующая математическая формулировка задачи с итоговым функционалом по критерию эффективности, которая сводится к поиску вариантов, удовлетворяющих функциональным критериям. Окончательное решение о структуре и функциях группировки робототехнических комплексов принимается с учетом функции затрат всего жизненного цикла обработки умного сада. Подчеркивается важность автоматизации и интеллектуализации процессов обработки умного сада, сбора урожая и сокращения времени на выполнение технологических операций, которым посвящены исследования передовых отечественных коллективов. Обсуждаются первичные данные для определения количества и функций робототехнических комплексов для решения комплексной задачи обработки умного сада. Проведены вычислительные эксперименты и собраны типовые сценарии применения робототехнических комплексов воздушного базирования и различных по функционалу роботов наземного базирования: транспортеры, сборщики, обработчики и другие. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку частных алгоритмических решений для конкретных образцов робототехнических комплексов и экспериментальные исследования на базе полигонов с последующей коррекцией разработанных математических моделей для разных типов умного сада и проработкой технологических карт для типизации выбранных сценариев поведения гетерогенной группы робототехнических комплексов.

*Ключевые слова:* системный анализ; робототехника; умный сад; робототехнический комплекс; беспилотный летательный аппарат; технологии искусственного интеллекта.

## 1. Постановка задачи

Целью данного исследования являлась формализация постановки задач формирования гетерогенной группы робототехнических комплексов для выполнения различных технологических операций.

Известно, что в сельском хозяйстве ручной труд является одним из основных компонентов затрат. Значительная часть садовых хозяйств при сборе урожая плодовых растений вынуждена прибегать к использованию труда большого числа сезонных работников и добровольцев. При таком подходе наблюдается существенный недобор, доходящий почти до половины урожая [1, 2]. Очевидно, что переход к технологиям «умных садов» с использованием современных технологий робототехники и искусственного интеллекта позволит существенно повысить эффективность садового хозяйства.

Активное развитие в настоящее время приобретают технологии искусственного интеллекта, которые направлены на использование интеллектуальных систем машинного зрения для определения местоположения плодов, степени их зрелости и наличия/отсутствия повреждений. Другим применением интеллектуальных систем технического зрения является картографирование сельскохозяйственных угодий и классификация их для различных технологических операций – обработка средствами защиты растений, внесение удобрений, борьба с сорняками и другими [3, 4]

Вместе с тем необходимо учитывать, что интеллектуальная система технического зрения должна функционировать на некоторой платформе. В качестве платформы могут выступать как существующие технические средства – трактора, транспортеры под управлением водителя, так и беспилотные средства – беспилотные трактора, беспилотные летательные аппараты с различной степенью автономности. Очевидно, что применение робототехнических комплексов для сбора урожая может позволить увеличить его скорость и эффективность, а также снизить затраты на ручной труд.

Активное развитие систем технического зрения и других сенсорных подсистем позволяет использовать уже в едином пространстве традиционные и современные методы обработки сельскохозяйственных культур [5, 6]. Как правило, находят баланс между применением ручного труда и применением высокотехнологичных средств с учетом затрат на их использование [5–9].

Отметим, что полное замещение ручного труда не всегда является экономически целесообразным, так как ряд операций при роботизированном выполнении имеет значительно более высокую сложность и требует соответствующее ресурсное обеспечение, например, при близком расположении стволов деревьев, при углах наклонов склонов, которые сложно преодолеваются беспилотными транспортными средствами. Единовременное введение большого парка техники требует больших затрат материальных средств, может приводить к сложностям при внедрении и в том числе дополнительно требовать расходы на их устранение.

В качестве основы для постановки задачи рассматривается садовая плантация плодовых деревьев, персонал которой лишь частично заменен робототехническим комплексом, т. е. сбором урожая занимаются как работники, так и роботы-сборщики в различных рабочих пространствах. Но предполагается, что в дальнейшем без изменения архитектуры системы РТК может быть расширен на все пространство сада. Схема работы такого комплекса совместно с людьми представлена на рис. 1.

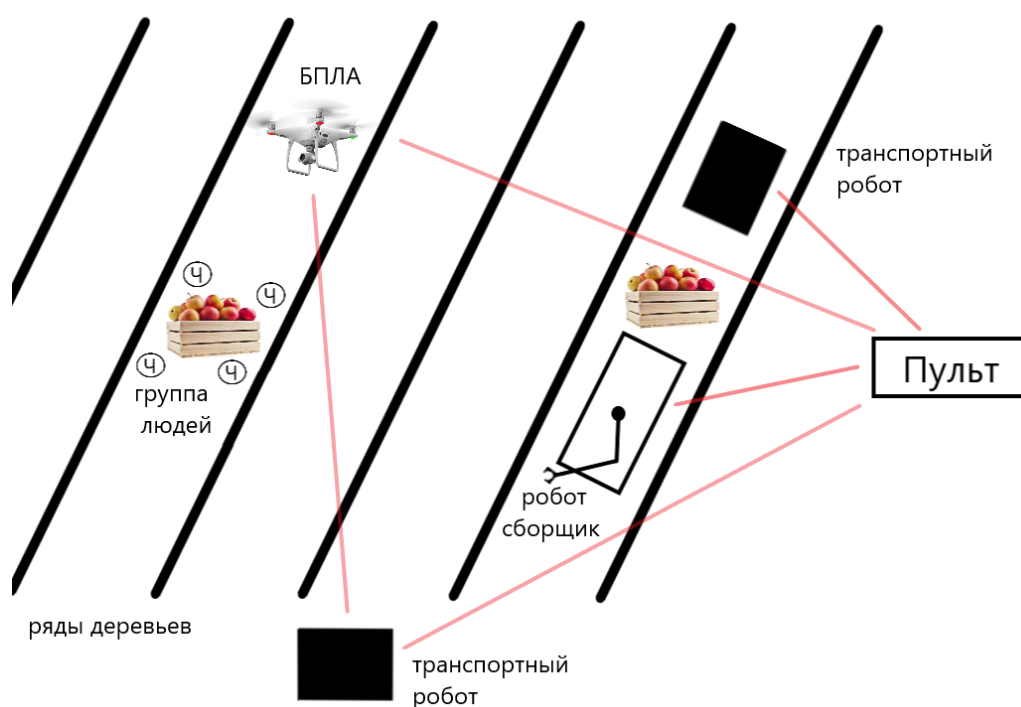


Рис. 1. Схема работы РТК и людей в саду

Функция транспортировки собранного урожая на склад и доставки к месту сбора пустых контейнеров лежит на транспортных роботах. Стоит отметить, что расстояние между рядами деревьев в большинстве садов невелико, из-за чего два робота или робот и контейнер не могут поместиться между двумя соседними рядами, что накладывает ограничение на возможность передвижения роботов. Определение зон плодового сада будет производиться на основании полученной от беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) информации при мониторинге состояния и

готовности плодов к сбору. Во время сбора урожая БПЛА помимо мониторинга состояния сада осуществляют контроль за процессом сбора, заполнением контейнеров и движением роботов, что может быть определено согласованными действиями [10].

Центром робототехнического комплекса, включающего наземные роботы и БПЛА, является наземный пульт управления (НПУ). На указанном НПУ оператор (или команда операторов) сможет отслеживать состояние роботов комплекса и выполняемые ими задачи. При необходимости оператор с использованием НПУ имеет возможность менять задание и контролировать работоспособность/поведение роботов. Структура робототехнического комплекса представляет собой иерархическую структуру, в которой стратегическое планирование / формирование и распределение задач осуществляется на НПУ, мониторинг осуществляют БПЛА, наземные роботы двух типов: сборщики урожая и транспортные роботы, которые осуществляют выполнение своих функций. Оператор ставит задачу роботам, а конкретные функции роботы выполняют в соответствии с текущими заданиями.

## 2. Система управления

В рамках исследований рассматривается вопрос логистики автономной гетерогенной группы робототехнических комплексов. В таком случае поставленным перед группой общим заданием принимается перемещение наземных роботов (НР) в задаваемые пультом управления (ПУ) точки сада и контроль их положения и перемещения с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Динамически изменяемый список задач располагается в памяти ПУ. Изменение списка происходит по трем причинам:

- 1) изменение состояния робототехнической группы;
- 2) изменение условий окружающей среды;
- 3) вмешательство оператора.

Появляющиеся в списке новые задачи либо предназначаются конкретным членам группы, которые и приступают к их выполнению немедленно или после завершения своего текущего, либо распределяются между свободными, не занятыми в выполнении задач членами группы, если таковые имеются.

Рабочей областью группы является сад, который можно представить в виде сети дорог двух типов и воздушного пространства над ним. Количество НР и БПЛА  $N_n$  и  $N_l$  соответственно и в общем случае не одинаково.

Роботы, НР и БПЛА рассматриваются как материальные точки с возможностями движения с ограничением на перемещения в соответствии с используемой средой. БПЛА в своем перемещении ограничен только выделенными эшелонами полета, в то время как НР способен перемещаться только по пространству дорог  $D$ . Дороги делятся на два типа – узкие,  $D1$ , по которым может проехать только один робот, и широкие  $D2$ , на которых могут одновременно проехать два робота в разных направлениях. Дороги  $D1$  могут иметь три состояния: 1) свободна, НР может беспрепятственно проехать; 2) забронирована, в данный момент НР может по ней проехать, но из-за маршрута или расположения заданной точки другой НР будет на дороге через некоторый промежуток времени, 3) занята, на дороге в данный момент присутствует НР.

Карта располагается у ПУ и обновляется при выполнении задач и поступлении отчетов от роботов. Роботы при планировании своего движения запрашивают актуальную карту со статусом дорог, при необходимости запрашивают у других НР, забронировавших или занявших узкие дороги, их время и место пребывания на несвободной дороге и, сравнивая со своим местоположением, принимают решение о выбранном маршруте и бронируют себе требуемые узкие дороги. Изменение статуса «занято» на дороге происходит по сообщению НР, которое тот передает как при въезде на дорогу, так и при съезде с неё.

БПЛА не имеют ограничения на дороги, поэтому для задач с проверкой обстановки в точке могут перемещаться из своего положения по прямой, отклоняясь только в случае необходимости избегания столкновения с другим БПЛА. Для задач же со следованием за одним из НР БПЛА вообще нет необходимости в долгосрочном планировании траектории движения.

Для упрощения избегания столкновений БПЛА можно использовать 2 эшелона движения – один для непосредственного ведения цели, а второй – для точечного наблюдения и перемещения.

### 3. Математическая постановка задачи (сад)

Группа роботов  $R$  состоит из  $N$  роботов трех типов – робот рабочий ( $Rp$ ), робот транспортник ( $Rm$ ), робот наблюдатель ( $Rn$ ). Количество роботов каждого типа соответственно  $Np, Nm, Nn$ .  $R = \{Rp, Rm, Rn\}$  – множество роботов.

Каждый тип роботов из-за своего строения обладает набором функций, которые может выполнять. Для каждого типа набор функций различен. Множества  $Pp, Pm, Pn$  определяют доступные роботам функции.

Состояние каждого робота можно записать вектор-столбцом  $X$ , причем для каждого типа роботов вектор-столбец  $X$  будет отличным, т. е.  $Xp = \{xp_1, xp_2 \dots xp_{np}\}^T$ ,  $Xm = \{xm_1, xm_2 \dots xm_{nm}\}^T$ ,  $Xn = \{xn_1, xn_2 \dots xn_{nn}\}^T$ .  $np, nm, nn$  – количество параметров, определяющих состояние робота.

Задания перед группой и требования к ним задаются матрицей  $P$ .

Множество известных группе роботов данных о себе и окружающей среде (актуальная карта, характеристики, параметры связи) –  $S$ . В начальный момент времени имеет вид  $S0$  и изменяется в процессе активности РТК. Причем информация  $s_i$ , которой располагает отдельный робот, может не соответствовать в общем случае общей информации группы  $S$ .

Введем  $L$  – множество ограничений, в которых присутствуют ограничения, накладываемые на доступные для посещения роботами зоны рабочей области, условия движения в определенных ситуациях, а также изменение работы робота при обнаружении людей в зоне доступности сенсоров. Введем  $K$  – требования к выполнению работы / критерии оптимизации. Область непосредственного интереса роботов задается вместе с заданиями. Например, для задачи сбора плодовых растений в саду роботы вместе с этой задачей получают те зоны сада, где необходимо произвести сбор. При этом роботы могут не обладать информацией о том, почему другая часть сада не задействована в сборе.

Таким образом, определим целевую функцию, подлежащую минимизации, как

$$\Phi(P, K | R, S, L).$$

Возможность прохождения по пути, габаритные размеры рассматриваются уже на этапе траекторного управления и отработки конкретных сценариев и режимов движения по конкретному саду. Также следует отметить, что на этапе формирования общего сценария можно пренебречь динамической и статической проходимостью, а также изменением ускорений и скоростей.

Определим, что РТ – колесные роботы, имеют одинаковую маневренность при движении вперед и назад. Они способны:

- перемещаться/двигаться между заданными точками или между точками и РР или по заданным траекториям. Перемещение может быть ограничено условиями местности, конструкцией роботов или предполагаемым заданием;
- перевозить с собой или на себе грузы с объектами, необходимыми для работы РО РР или получаемыми в процессе работы РР;
- определять окружающую обстановку с помощью сенсоров (лидары, камеры и пр.) с необходимой для выполнения задания точностью;
- определять свое положение и положение относительно препятствий и ключевых объектов;
- связываться с другим членами группы.

РР – колесные роботы, имеют одинаковую маневренность вперед и назад. Характеристики подвижности постоянно или только во время работы РО ниже, чем у РТ. Оснащены рабочим органом (РО). Работа РО может требовать каких-либо ресурсов/объектов, которые способен доставить РТ или, наоборот, может производить какие-либо ресурсы/объекты для дальнейшей их транспортировки РТ. Осуществляет работу РО в определенных областях и перемещается между ними. Они способны:

- определять окружающую обстановку с помощью сенсоров (лидар, камеры) с необходимой для выполнения задания точностью;

- определять свое положение и положение относительно препятствий и ключевых объектов;

- связываться с другим членами группы.

Заключительный тип из гетерогенной группы РН – беспилотные летательные аппараты мультикоптерного типа. Они способны:

- перемещаться/двигаться между заданными точками в пространстве или по заданным траекториям. На них не действуют ограничения передвижения наземных роботов, но их движение ограничено другими факторами местности;

- находить и распознавать объекты;

- осуществлять наблюдение за какими-либо объектами;

- способны передавать получаемые с камер данные в необработанном или обработанном виде наземным роботам или на ПУ;

- определять свое положение и положение относительно наземных и/или ключевых объектов;

- связываться с другим членами группы.

Оператор, находящийся за пультом управления (ПУ), ставит перед группой первоначальное задание и осуществляет наблюдение за её работой в процессе выполнения. Поставленные задачи группа выполняет в автономном режиме. В случае возникновения нештатной или экстренной ситуации оператор может взять на себя управление и изменить задачи, поставленные перед группой роботов.

Главная задача группы – выполнение полезных действий РО, расположенного на РР.

1-й уровень:

- определение ключевых объектов;

- правильное размещение РР;

- применение РО;

- контроль оператором.

2-й уровень:

- навигация роботов;

- транспортная функция РТ, для обеспечения работы РО РР;

- передача информации между роботами.

Рассмотрим область действий группы в виде плодового сада – *Сад*.

В такой задаче ПУ обладает большими вычислительными мощностями по сравнению с роботами. ПУ ставит задания перед группой – область работы РР, пункты назначения РТ, объекты наблюдения РН. Задания существуют в виде динамически изменяемого списка в памяти ПУ. Изменение списка происходит по трем причинам:

- 1) изменение состояния робототехнической группы;

- 2) изменение условий окружающей среды;

- 3) вмешательство оператора.

Появляющиеся в списке новые задачи либо предназначаются конкретным членам группы, которые и приступают к их выполнению немедленно или после завершения своего текущего, либо распределяются между свободными, не занятыми в выполнении задач, членами группы, если таковые имеются.

Наборы функций, которые могут быть определены для конкретных робототехнических комплексов в рамках работы гетерогенной группы:

- 1) коммуникация;

- 2) навигация;

- 3) индивидуальные действия;

- 4) вычисления и логика;

- 5) составные/сложные;

- 6) другое.

Приведем список функций с разбиением по группам:

- 1) Коммуникация:

- получение задания от оператора;

- получение информации от оператора;
  - передача информации оператору;
  - получение информации от других членов группы;
  - получение приказов/команд от других членов группы;
  - передача информации другим членам группы;
  - передача приказов/команд другим членам группы.
- 2) Навигация:
- определение/идентификация препятствий, объектов и других роботов и людей;
  - определение своего абсолютного положения (GPS);
  - определение своего положения относительно препятствий/окружающих объектов;
  - определение положения препятствий/окружающих объектов относительно робота;
  - определение своего положения относительно положения других роботов;
  - определение положения других роботов относительно своего положения;
  - планирование траектории движения роботом;
  - избегание столкновений.
- 3) Индивидуальные действия:
- движение;
  - перемещение в заданную точку/область (координаты);
  - применение РО;
  - 4/2 контроль позиционирования и состояния РО;
  - 4/2 изменение позиционирования и состояния РО;
  - 4/5 определение/идентификация целей применения РО;
  - передача рабочих ресурсов между TP и PP;
  - изменение области видимости.
- 4) Вычисления и логика:
- прекращение действий;
  - отчет о выполнении перед оператором;
  - отсутствие действий/ожидание/сон;
  - обработка (и проверка) поступающей информации;
  - хранение полезной информации;
  - запись логов;
  - преобразование информации;
  - сравнение поступающих заданий и приказов с текущими;
  - изменение своего поведения в соответствии с поступающими приказами;
  - изменение последовательности действий робота.
- 5) Составные/сложные:
- следование за объектом или роботом;
  - 6/3 перемещение с заданными условиями/ограничениями;
  - 4/1 выполнение команд ручного управления от оператора.
- б) Другое:
- получение информации с сенсоров/датчиков.

Таким образом, представленный перечень выполняемых функций позволяет формировать сценарии работы гетерогенной группы при реализации концепции умного сада. Следует отметить, что вопросами автоматизации и интеллектуализации технологических процессов сельского хозяйства активно занимаются в ведущей научной школе З.В. Нагоева. Представленные результаты интеллектуального принятия решений на основе самоорганизации мультиагентных когнитивных архитектур и оригинальные наземные роботы сельскохозяйственного назначения являются чрезвычайно важными и имеют значительные перспективы реализации в виде конкретных образцов [11–14]. Авторы выражают признательность за предоставленную возможность регулярного общения с Залимханом Вячеславовичем Нагоевым. Авторы поздравляют с юбилеем и желают научных успехов в научной деятельности.

### Заключение

Представленная в настоящей статье формализация гетерогенной группы робототехнических комплексов для реализации концепции умного сада позволит исследователям использовать формализацию для постановок частных задач составления миссий и достижения целей повышения эффективности садовых хозяйств.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку математического, методического-алгоритмического и программного обеспечения по реализации предложенной постановки задачи и оптимизации вариантов технологической карты функционирования системы умного сада.

### Литература

1. Bechar, A. Agricultural robots for field operations: Concepts and components / A. Bechar, C. Vigneault // *Biosystems Engineering*. – 2016. – Vol. 149. – P. 94–111.
2. Design and implementation of an aided fruitharvesting robot (Agribot) / R. Ceres, J. Pons, A. Jimenez *et al.* // *Industrial Robot*. – 1998. – Vol. 25, no. 5. – P. 337–346.
3. Шевченко, А.В. Обзор состояния мирового рынка робототехники для сельского хозяйства. Ч. 1. Беспилотная агротехника / А.В. Шевченко, Р.В. Мещеряков, А.Н. Мигачев // *Проблемы управления*. – 2019. – № 5. – С. 3–18.
4. Шевченко, А.В. Обзор состояния мирового рынка робототехники для сельского хозяйства. Ч. 2. Беспилотные летательные аппараты и роботизированные фермы / А.В. Шевченко, Р.В. Мещеряков, А.Н. Мигачев // *Проблемы управления*. – 2019. – № 6. – С. 3–10.
5. Ронжин, А.Л. Математические модели и средства многомодального взаимодействия с робототехническими и киберфизическими системами / А.Л. Ронжин, М.М. Бизин, С.В. Солёный // *Математические методы в технике и технологиях – ММТТ*. – 2016. – № 8(90). – С. 107–111.
6. Кузнецова, А.А. Применение сверточных нейронных сетей для обнаружения плодов роботами для сбора урожая / А.А. Кузнецова, Т.В. Малеева, В.И. Соловьев // *Международный сельскохозяйственный журнал*. – 2020. – Том 63, № 5 (377). – С. 39–41.
7. Робототехнические системы в агропроизводстве / Д.С. Стребков, В.А. Королев, С.А. Воротников, В.А. Польский // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. – 2014. – № 3 (31). – С. 68–71.
8. Зобнин А. Н. Агророботы в сельском хозяйстве // *Академическая публицистика*. – 2018. – № 5. – С. 85–87.
9. Широков А.С. К вопросу об использовании робототехнического комплекса для сбора урожая плодовых деревьев / А.С. Широков // *Труды III Международной научно-практической конференции «Цифровизация агропромышленного комплекса», 25–27 октября 2022 г., г. Тамбов*. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ». – 2022. – Т. 1. – С. 342–344.
10. Chueshev, A. Cloud Robotic Platform on Basis of Fog Computing Approach / A. Chueshev, O. Melekhova, R. Meshcheryakov // *Interactive Collaborative Robotics. ICR 2018. Lecture Notes in Computer Science*. – Springer, Cham., 2018. – Vol. 11097. – С. 34–43.
11. Multi-agent Algorithms for Building Semantic Representations of Spatial Information in a Framework of Neurocognitive Architecture / Z. Nagoev, O. Nagoeva, I. Gurtueva, V. Denisenko // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2020. – Vol. 948. – P. 379–386.
12. Nagoev, Z. Multi-Agent Neurocognitive Models of Semantics of Spatial Localization of Events / Z. Nagoev, O. Nagoeva, I. Gurtueva // *Cognitive Systems Research*. – 2020. – Vol. 59. – P. 91–102.
13. Нагоев, З.В. Извлечение знаний из многомодальных потоков неструктурированных данных на основе самоорганизации мультиагентной когнитивной архитектуры мобильного робота / З.В. Нагоев, О.В. Нагоева // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. – 2015. – № 6-2 (68). – С. 145–152.
14. Автономный синтез пространственных онтологий в системе принятия решений мобильного робота на основе самоорганизации мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры / З.В. Нагоев, К.Ч. Бжихатлов, И.А. Пшенокова и др. // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. – 2020. – № 6 (98). – С. 68–79.

Поступила в редакцию 1 марта 2024 г.

### Сведения об авторах

Мешчеряков Роман Валерьевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории киберфизических систем, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1129-8434>, e-mail: [mrv@ipu.ru](mailto:mrv@ipu.ru).

Широков Александр Сергеевич – аспирант лаборатории киберфизических систем, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8049-851X>, e-mail: [shiras@ipu.ru](mailto:shiras@ipu.ru).

---

*Bulletin of the South Ural State University*  
*Series "Mathematics. Mechanics. Physics"*  
2024, vol. 16, no. 2, pp. 41–49

---

DOI: 10.14529/mmph240204

## SETTING THE TASK OF HETEROGENEOUS GROUP INTERACTION OF ROBOTS IN SOLVING SMART GARDEN TASKS

**R.V. Meshcheryakov, A.S. Shirokov**

*V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*  
E-mail: [mrv@ipu.ru](mailto:mrv@ipu.ru)

**Abstract.** The article considers the problem of heterogeneous group interaction of various robotic air and ground-based complexes. It proposes a conceptual model of the distribution of tasks between functionally different robotic complexes, and an appropriate mathematical formulation of the problem with the final functional according to the efficiency criterion, which boils down to the search for options that meet functional criteria. The presented final decision on the structure and functions of the grouping of robotic complexes takes into account the cost function of the entire life cycle of smart garden processing. The paper emphasizes the importance of automation and intellectualization during processing a smart garden, harvesting and reducing the time to perform technological operations, which are devoted to the research of advanced domestic. It discusses the primary data to determine the number and functionality of robotic complexes for solving the complex task of developing a smart garden. The paper highlights the computational experiments and collects typical scenarios for the use of air-based robotic complexes and ground-based robots of various functionality: transporters, collectors, handlers and others. Further research will be aimed at developing specific algorithmic solutions for specific samples of robotic complexes and experimental studies based on polygons, followed by the correction of developed mathematical models for different types of smart gardens and elaboration of technological maps to typify selected behavior scenarios of a heterogeneous group of robotic complexes.

**Keywords:** *system analysis; robotics; smart garden; robotic complex; unmanned aerial vehicle; artificial intelligence technologies.*

### References

1. Bechar A., Vigneault C. Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*, 2016, Vol. 149, pp. 94–111. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.06.014
2. Ceres R., Pons J., Jimenez A., Martin J., Calderon L. Design and Implementation of an Aided Fruitharvesting Robot (Agriobot). *Industrial Robot*, 1998, Vol. 25, no. 5, pp. 337–346. DOI: 10.1108/01439919810232440
3. Shevchenko A.V., Meshcheryakov R.V., Migachev A.N. Review of the World Market of Agriculture Robotics. Part 1. Unmanned Vehicles for Agriculture. *Control sciences*, 2019, no. 5, pp. 3–18. (in Russ.). DOI: 10.25728/pu.2019.5.1
4. Shevchenko A.V., Meshcheryakov R.V., Migachev A.N. Review of the State of the Global Market for Robotics for Agriculture. Part 2. Unmanned Aerial Vehicles and Robotic Farms. *Control sciences*, 2019, no. 6, pp. 3–10. (in Russ.). DOI: 10.25728/pu.2019.6.1



5. Ronzhin A.L., Bizin M.M., Soleny S.V. Matematicheskie modeli i sredstva mnogomodal'nogo vzaimodeystviya s robototekhnicheskimi i kiberfizicheskimi sistemami (Mathematical Models and Means of Multi-Modal Interaction with Robotic and Cyberphysical Systems). *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh – MMTT*, 2016, no. 8(90), pp. 107–111. (in Russ.).

6. Kuznetsova A.A., Maleva T.V., Soloviev V.I. Modern Fruit Detection Approaches in Harvesting Robots. *International Agricultural Journal*, 2020, Vol. 63, no. 5 (377), pp. 39–41. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-15089

7. Strebkov D., Korolev V., Vorotnikov S., Polsky V. Robots in the Agrarian Production. *Vestnik BSAU*, 2014, no. 3 (31), pp. 68–71. (in Russ.).

8. Zobnin A.N. Agroroboty v sel'skom khozyaystve (Agricultural Robots in Agriculture). *Akademicheskaya publitsistika*, 2018, no. 5, pp. 85–87. (in Russ.).

9. Shirokov A.S. K voprosu ob ispol'zovanii robototekhnicheskogo kompleksa dlya sbora urozhaya plodovykh derev'ev (On the Issue of using a Robotic Complex for Harvesting Fruit Trees). *Trudy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Tsifrovizatsiya agropromyshlennogo kompleksa"*, 25–27 oktyabrya 2022 g., g. Tambov (Proc. III International Scientific and practical Conference “Digitalization of the agro-industrial complex”, October 25-27, 2022, Tambov, Tambov, Izdatel'skiy tsentr FGBOU VO “TGTU” Publ., 2022, Vol. 1, pp. 342–344. (in Russ.).

10. Chueshev A., Melekhova O., Meshcheryakov R. Cloud Robotic Platform on Basis of Fog Computing Approach. In: Ronzhin, A., Rigoll, G., Meshcheryakov, R. (eds) *Interactive Collaborative Robotics. ICR 2018. Lecture Notes in Computer Science*, Vol 11097. Springer, Cham., 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-99582-3\_4

11. Nagoev Z., Nagoeva O., Gurtueva I., Denisenko V. Multi-agent Algorithms for Building Semantic Representations of Spatial Information in a Framework of Neurocognitive Architecture. In: Samsonovich, A. (eds) *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2019. BICA 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 948. Springer, Cham., 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-25719-4\_49

12. Nagoev Z., Nagoeva O., Gurtueva I. Multi-Agent Neurocognitive Models of Semantics of Spatial Localization of Events. *Cognitive Systems Research*, 2020, Vol. 59, pp. 91–102. DOI: 10.1016/j.cogsys.2019.09.01

13. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. Extraction of Knowledge from Multimodal Flows of Unstructured Data on the Basis of Self-Organization of Multi-Agent Cognitive Architecture of the Mobile Robot. *News of the Kabardin-Balkar scientific center of RAS*, 2015, no. 6-2, p. 145–152. (in Russ.).

14. Nagoev Z.V., Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A., Nagoeva O.V., Atalikhov B.A., Chechenova N.A., Malyshev D.A., Autonomous Formation of Spatial Ontologies in the Intelligent Decision-Making System of a Mobile Agricultural Robot based on the Self-Organization of Multi-Agent Neurocognitive Architectures. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2020, no. 6, pp. 68–79. (in Russ.). DOI: 10.35330/1991-6639-2020-6-98-68-79

*Received March 1, 2024*

### Information about the authors

Mescheryakov Roman Valerievich is Professor, Dr. Sc. (Engineering), Chief Scientist of Cyber-Physical Laboratory, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1129-8434>, e-mail: [mrv@ipu.ru](mailto:mrv@ipu.ru).

Shirokov Aleksander Sergeevich is Post-graduate Student, Cyber-Physical Laboratory, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8049-851X>, e-mail: [shiras@ipu.ru](mailto:shiras@ipu.ru).