

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Керимов Тимур Александрович<sup>1</sup>, Решетников Андрей Геннадьевич<sup>2</sup>,  
Николаева Алена Валериановна<sup>3</sup>, Повидало Илья Сергеевич<sup>4</sup>,  
Ноздрачев Андрей Владимирович<sup>5</sup>, Ульянов Сергей Викторович<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Аспирант;

ГБОУ ВО «Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,  
Институт системного анализа и управления;  
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;  
e-mail: T.Kerimov@hotmail.com.

<sup>2</sup>Аспирант;

ГБОУ ВО «Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,  
Институт системного анализа и управления;  
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;  
e-mail: reshetnikovag@pochta.ru.

<sup>3</sup>Аспирант;

ГБОУ ВО «Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,  
Институт системного анализа и управления;  
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;  
e-mail: nikolaevaav@lenta.ru.

<sup>4</sup>Аспирант;

ГБОУ ВО «Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,  
Институт системного анализа и управления;  
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;  
e-mail: ipovidalo@gmail.com.

<sup>5</sup>Аспирант;

ГБОУ ВО «Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,  
Институт системного анализа и управления;  
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;  
e-mail: nozav@mail.ru.

<sup>6</sup>Доктор физико-математических наук, профессор;

ГБОУ ВО «Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,  
Институт системного анализа и управления;  
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;  
e-mail: ulyanovsv@mail.ru.

*В статье рассматриваются варианты взаимодействия трех робототехнических систем. В качестве объектов управления выступают: робот-бармен, тележка с манипулятором и робот – перевернутый маятник. Рассматривается вариант взаимодействия робота – перевернутого маятника с роботом-барменом, а также перевернутого маятника и тележки с манипулятором.*

**Ключевые слова:** коллектив роботов, мультиагентная система, интеллектуальное управление, нечеткий регулятор, распознавание образов.

## **INTERACTION OF INTELLIGENT ROBOTIC SYSTEMS**

**Kerimov Timur<sup>1</sup>, Reshetnikov Andrey<sup>2</sup>, Nikolayeva Alyona<sup>3</sup>, Povidalo Ilya<sup>4</sup>,  
Nozdrachev Andrey<sup>5</sup>, Ulyanov Sergey<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>PhD student;  
Dubna International University of Nature, Society and Man,  
Institute of system analysis and management;  
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;  
e-mail: T.Kerimov@hotmail.com.

<sup>2</sup>PhD student;  
Dubna International University of Nature, Society and Man,  
Institute of system analysis and management;  
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;  
e-mail: reshetnikovag@pochta.ru.

<sup>2</sup>PhD student;  
Dubna International University of Nature, Society and Man,  
Institute of system analysis and management;  
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;  
e-mail: nikolaevaav@lenta.ru.

<sup>2</sup>PhD student;  
Dubna International University of Nature, Society and Man,  
Institute of system analysis and management;  
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;  
e-mail: ipovidalo@gmail.com.

<sup>2</sup>PhD student;  
Dubna International University of Nature, Society and Man,  
Institute of system analysis and management;  
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;  
e-mail: nozav@mail.ru.

<sup>3</sup>Doctor of Science in Physics and Mathematics, professor;  
Dubna International University of Nature, Society, and Man,  
Institute of system analysis and management;  
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;  
e-mail: ulyanovsv@mail.ru.

*In this article ways of interaction of three robotic systems are considered. Robot-barman, cart with manipulator and inverted pendulum are treated as control objects. Interaction of inverted pendulum with robot-barman and inverted pendulum with manipulator cart is considered.*

**Keywords:** intelligent control, fuzzy controller, multi-agent systems, pattern recognition, soft computing optimizer.

## **Введение**

Одной из ключевых задач современной робототехнике является развитие технологий взаимодействия робототехнических систем. Современные подходы в решении данной задачи основываются на теории многоагентных систем [1] и теории роевого искусственного интеллекта [2]. Многоагентная система способна решать сложные динамические задачи по выполнению совместной работы, которая не могла бы выполняться каждым элементом системы в отдельности в разнообразных средах без внешнего управления, контроля или координации. Речь идет о сети слабо связанных между собой роботов, совместно работающих в целях решения задач, которые выходят за рамки индивидуальных возможностей. Различные узлы подобной системы, как правило, имеют различный уровень интеллектуализации (знания, алгоритмы, вычислительные базы) и разные информационные ресурсы при проектировании. Каждый узел должен быть способен модифицировать свое поведение в зависимости от обстоятельств, а также планировать свои стратегии коммуникации и кооперации с другими узлами. Здесь показателями уровня кооперации являются: характер распределения задач, объединение различных информационных ресурсов и, конечно, возможность решения общей проблемы в заданное время.

Часто проводятся принципиальные различия между распределенным и децентрализованным искусственным интеллектом (рис. 1). Идеология распределенного решения задач предполагает главным

образом разделение знаний и ресурсов между агентами и, в меньшей степени, распределение управления и властных полномочий; как правило, здесь постулируется наличие единого органа управления, обеспечивающего принятие решений в критических (конфликтных) ситуациях. Исходным объектом исследования является общая сложная проблема, для решения которой формируется группа агентов, строится общая концептуальная модель и вводятся глобальные критерии достижения цели.

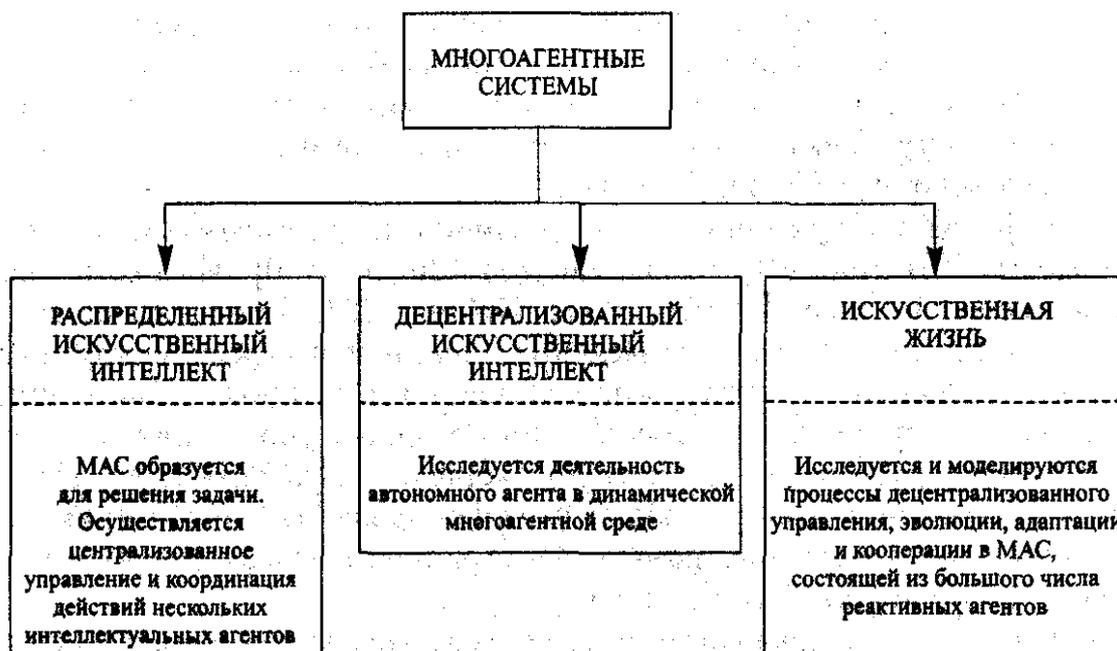


Рис. 1. Классификация многоагентных систем [1]

В полностью децентрализованных системах управление происходит только за счет локальных взаимодействий между агентами. Здесь базовым объектом исследования оказывается уже не распределенное решение некоторой общей задачи, а деятельность автономного агента в динамическом многоагентном мире (а также координация деятельности различных агентов). При этом наряду с распределенными знаниями и ресурсами, описываются локальные задачи отдельных агентов, решаемые на базе локальных концептуальных моделей и локальных критериев.

Для возможности демонстрации взаимодействия были спроектированы макеты управления. Системы управления макетов функционируют на основе нейросетевых нечетких регуляторов разработанных на основе технологии, представленной в [3, 4, 5].

Рассмотрим кратко каждый объект управления.

## Объекты управления

*Перевернутый маятник.* Данная система управления представляет собой динамически-неустойчивый мобильный объект. Разработанная система интеллектуального управления позволяет роботу свободно перемещаться по различным поверхностям, таким как паркет, асфальт, линолеум, стол, а также дополнительно ставить на робота объекты различной тяжести, например, бокал, телефон и т.п.

Для возможности определения положения этой системы в пространстве используется система инфракрасных «маячков». На четыре угла корпуса робота установлены инфракрасные диоды. Отслеживая камерой двумерные координаты светодиодов, и, зная точные расстояния между ними, можно вычислить расстояние и положение робота в трехмерном пространстве.

На рис. 2 представлена трехмерная модель перевернутого маятника.

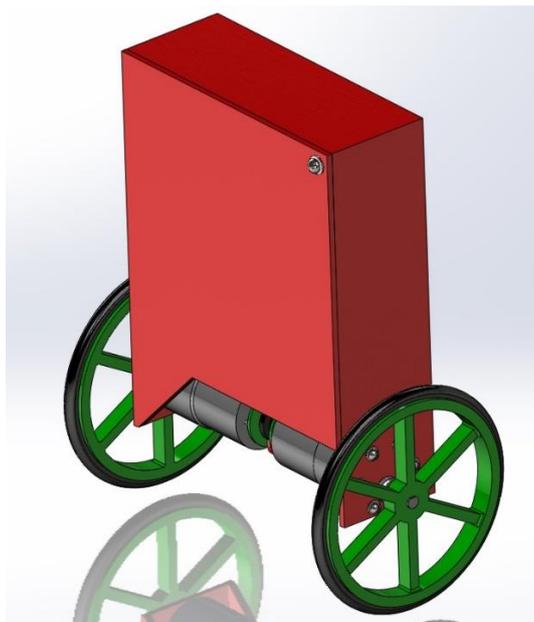


Рис. 2. Трехмерная модель перевернутого маятника

*Тележка с манипулятором.* Данный объект представляет собой мобильную платформу с установленным на нее манипулятором с тремя степенями свободы. Также, для возможности ориентации в пространстве, на робот установлены две камеры: цветная *Kinect* и инфракрасная *Wiimote*. Для распознавания объектов взаимодействия робот использует систему распознавания образов, работающую в среде *OpenCV*. Система может свободно перемещаться в пространстве, распознавать различные объекты и использовать манипулятор для взаимодействия с ними.

Модель тележки представлена на рис. 3.

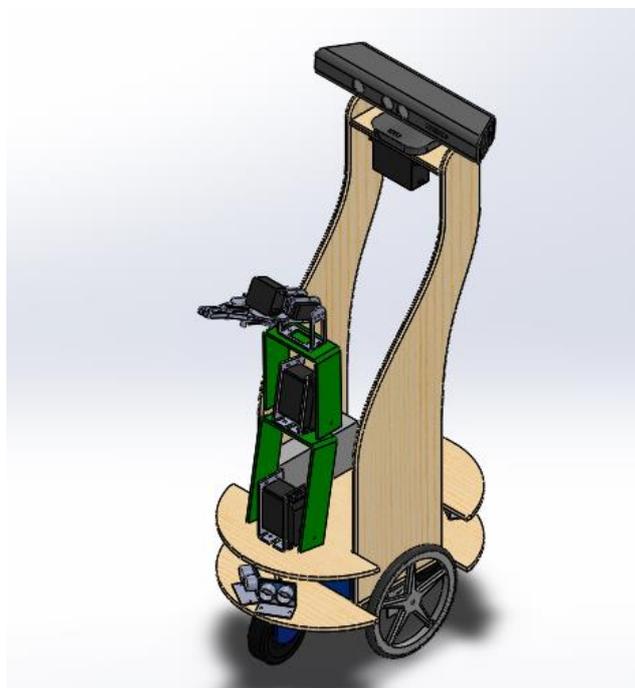


Рис. 3. Трехмерная модель тележки с манипулятором

*Робот-бармен.* Данный робот представляет собой манипулятор с четырьмя степенями свободы. Робот оснащен камерой, которая охватывает обзором поле рядом с манипулятором и системой распознавания контуров. Вместо захвата к манипулятору подведена трубка с жидкостью, которая хранится в бачке. Робот способен распознавать контуры емкостей, размещенных в рабочей области, и наполнять их какой-либо жидкостью.

На рис. 4 представлена трехмерная модель стационарного манипулятора.

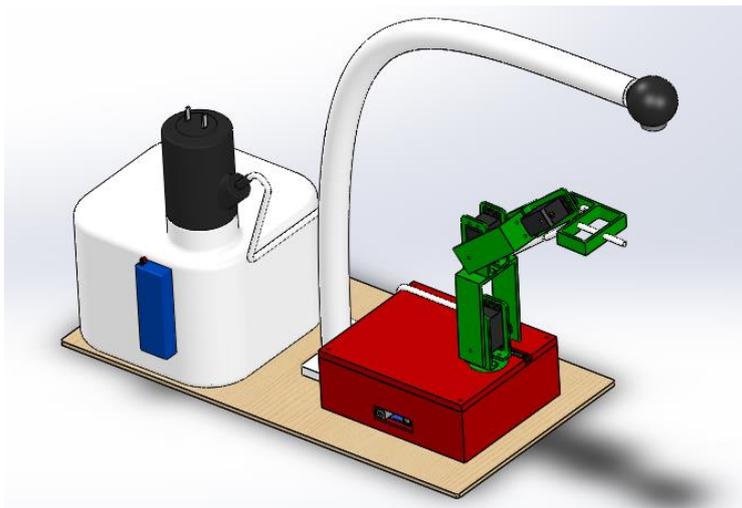


Рис. 4. Трехмерная модель робота-бармена

Далее рассмотрим реализованные типы взаимодействия.

### Удаленная связь между роботами

Для возможности реализации связи между роботами был реализован беспроводной интерфейс на основе технологии *Bluetooth*. Беспроводные передатчики установлены на каждую из робототехнических систем (рис. 5).



Рис. 5. Использование макетами технологии *Bluetooth*

Профиль соединения представляет собой последовательный порт. В процессе работы системы обмениваются между собой простейшими командами, такими как «двигайся вперед», «повернись налево», «повернись направо», «остановись», закодированными в символьном виде.

## Дистанционная настройка с использованием «Оптимизатора Баз Знаний»

«Оптимизатор Баз Знаний» является инструментарием для разработки робастных баз знаний на основе решения одной из алгоритмически трудно решаемой задачи теории искусственного интеллекта – извлечения, обработки и формирования объективных знаний без использования экспертных оценок. В данном оптимизаторе используются три генетических алгоритма, которые позволяют спроектировать оптимальную структуру нечеткого регулятора, аппроксимирующего обучающий сигнал с требуемой ошибкой. Подробнее функции оптимизатора описаны в [3, 4, 5]. Одной из важных особенностей ОБЗ является дистанционная настройка объекта управления (рис. 6), когда интеллектуальная система управления настраивается с использованием самого объекта, независимо от его местонахождения, через беспроводную связь. Применение данной технологии, на примере робота-перевернутого маятника также рассматривается в [3-7].



Рис. 6. Схема соединения настраиваемого устройства и ОБЗ

Технология беспроводной настройки также была применена и роботу-тележке с манипулятором. Здесь интеллектуальная система управления используется для быстрого и точного перемещения к объекту распознавания, а ошибкой является отклонение от прямолинейного курса в условных единицах.

## Взаимодействие перевернутого маятника и робота-бармена

На робот-перевернутый маятник устанавливается бокал, который является объектом распознавания для стационарного манипулятора. Перевернутый маятник определяет свое положение относительно робота-бармена с помощью инфракрасной камеры и «маячков» и, когда подается соответствующая команда, меняет свое местоположение и перемещается к манипулятору. Алгоритм взаимодействия представлен на рис. 7.

Когда перевернутый маятник оказывается в зоне видимости стационарного манипулятора (рис. 8), система распознавания определяет местоположение бокала и отправляет команду манипулятору наполнить его жидкостью (рис. 9).

Такое взаимодействие является типовым и его применение возможно в целом спектре задач. Кроме очевидных возможностей автоматизации кафе и баров, также возможна автоматизация множества производственных задач, таких как погрузка-разгрузка контейнеров, сортировка и т.п.



Рис. 7. Алгоритм взаимодействия перевернутого маятника и робота-бармена

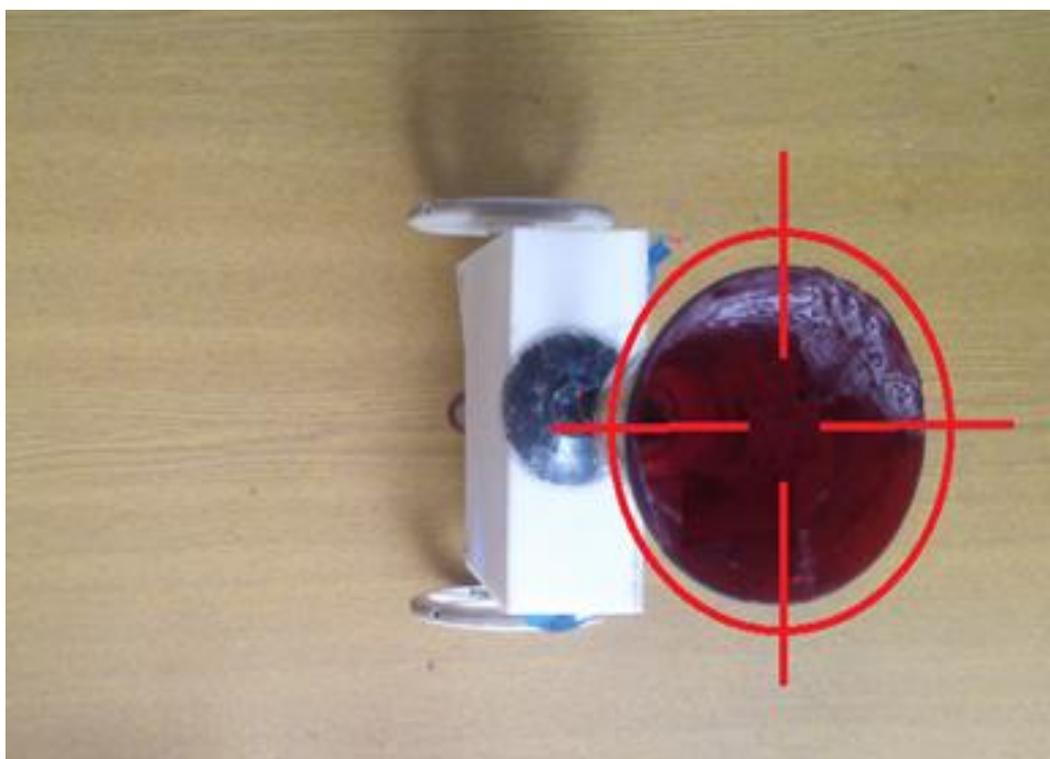
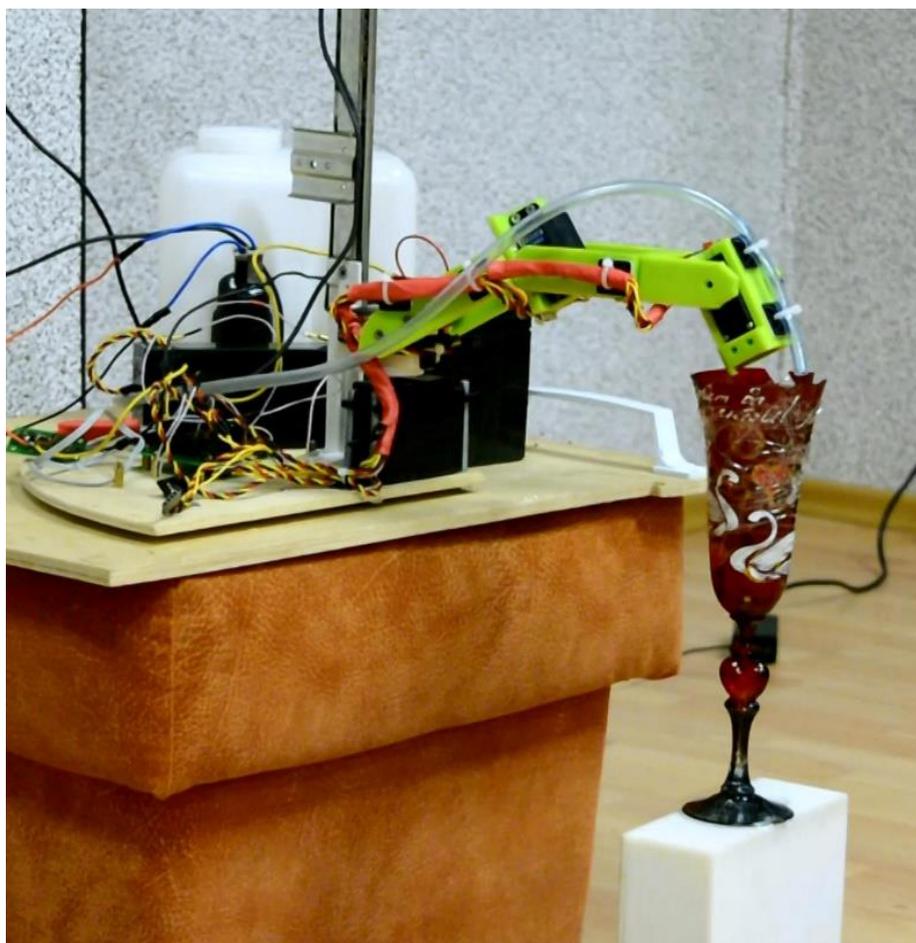


Рис. 8. Перевернутый маятник с бокалом в области видимости робота-бармена



*Рис. 9. Робот-бармен наливает жидкость в бокал, установленный на перевернутом маятнике*

### ***Взаимодействие перевернутого маятника и тележки с манипулятором***

На перевернутый маятник также устанавливается бокал. Тележка с манипулятором имеет инфракрасную камеру, которая определяет относительное положение перевернутого маятника и начинает к нему движение по прямой. Команда на сближение также отправляется перевернутому маятнику. После сближения тележка, с помощью камеры Kinect и системы распознавания, определяет бокал и его местонахождение, после чего отправляется команда манипулятору, который выполняет захват объекта.

На рис. 10 представлен алгоритм взаимодействия тележки и перевернутого маятника. Сначала тележка находит в зоне видимости перевернутый маятник и определяет его положение. Если маятник повернут, то ему отправляется команда на разворот. Если маятник стоит ровно, то начинается взаимное движение навстречу. Когда дистанция становится оптимальна, в работу включается камера Kinect и происходит распознавание бокала, установленного на маятник. После распознавания бокала отправляются координаты и команда манипулятору на захват бокала.

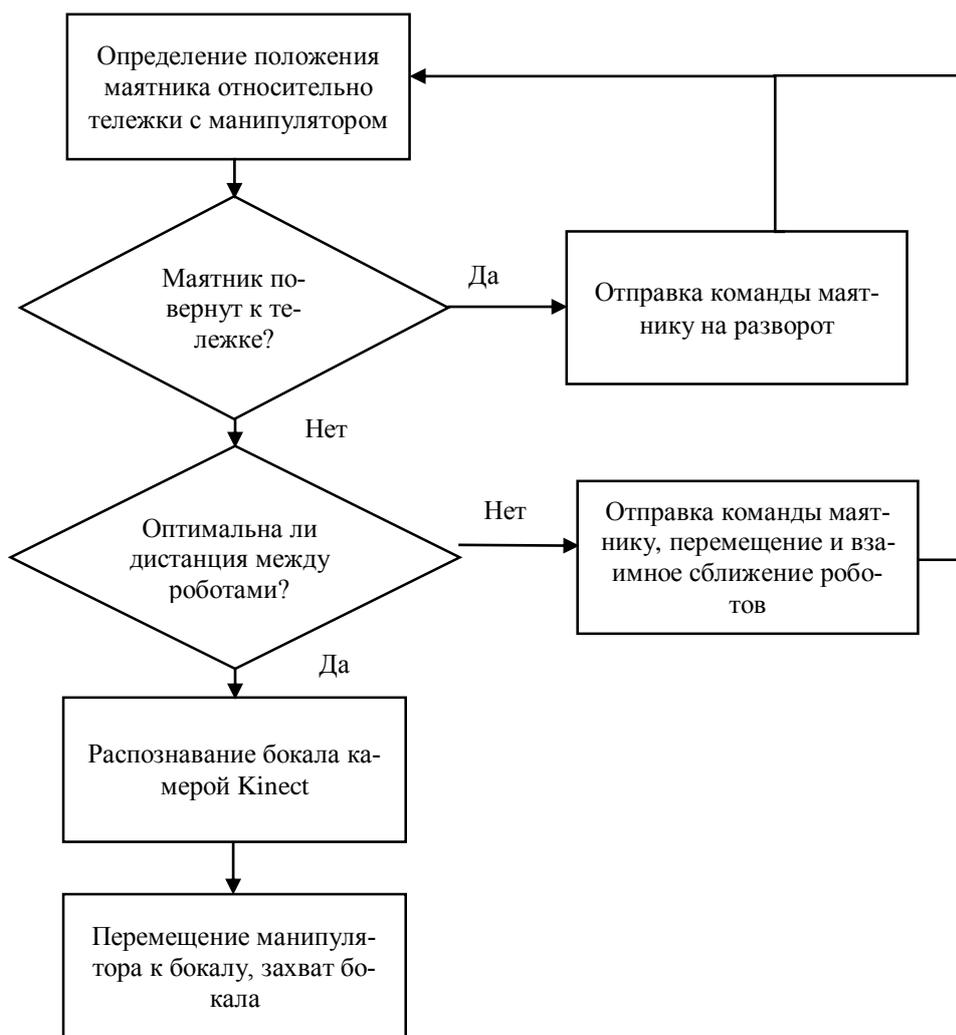


Рис. 10. Алгоритм взаимодействия тележки с манипулятором и перевернутого маятника



Рис. 11. Тележка с манипулятором выполняет захват бокала с перевернутого маятника

## Выводы

Развитие технологий проектирования взаимодействия агентов в многоагентных системах представляет как практический, так и научный интерес. Для возможности реализации таких систем в реальной среде необходимо, чтобы каждый агент имел встроенную интеллектуальную систему управления, т.к. при взаимодействии систем существует множество неучтенных параметров и прочих непредвиденных ситуаций, которые сильно влияют на результат такого взаимодействия. Рассмотренная в статье возможность использования интеллектуальной дистанционной настройки показала свою применимость для такого рода систем.

Разработанные варианты взаимодействия показывают возможности применения таких систем в широком спектре задач, таких как автоматизация складов и производств, автоматические заведения общественного питания, ликвидация последствий чрезвычайных происшествий и т.п. Главной особенностью многоагентной системы является синергетический эффект, возникающий от объединения нескольких робототехнических систем, когда результат взаимодействия намного превышает возможности каждого из роботов в отдельности.

## Список литературы

1. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – С. 352.
2. Лебедев Б.К., Лебедев В.Б. Планирование на основе роевого интеллекта и генетической эволюции // Известия Южного федерального университета. – 2009. – №4. – Том 93.
3. Керимов Т. А., Решетников А. Г., Ульянов С. В. Интеллектуальное робастное управление динамически неустойчивым объектом. Ч.1: Удаленная настройка баз знаний на технологии мягких вычислений // Системный анализ в науке и образовании: электрон. науч. журнал. – Дубна, 2013. – № 4. [Электронный ресурс]. URL: <http://sanse.ru/download/191>.
4. Керимов Т. А., Решетников А. Г., Ульянов С. В. Интеллектуальное робастное управление динамически неустойчивым объектом. Ч.2: Технологии квантовых вычислений // Системный анализ в науке и образовании: электрон. науч. журнал. – Дубна, 2013. – № 4. [Электронный ресурс]. URL: <http://sanse.ru/download/192>.
5. Ульянов С.В., Решетников А.Г., Керимов Т.А. Дистанционная настройка базы знаний для интеллектуального управления автономным роботом на основе оптимизатора баз знаний. Ч1: технологии мягких вычислений // Системный анализ в науке и образовании: электрон. науч. журнал. – Дубна, 2013. – № 1. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sanse.ru/download/156>.
6. Ульянов С.В., Албу В.А., Керимов Т.А., Решетников А.Г., Бархатова И.А. Программная поддержка дистанционной настройки баз знаний интеллектуальных регуляторов на технологиях квантовых мягких вычислений // Государственная регистрация программы для ЭВМ №2014618018, 07.08.2014.
7. Ульянов С.В., Албу В.А., Керимов Т.А., Решетников А.Г., Бархатова И.А. Программная поддержка интеллектуальных регуляторов на основе технологий мягких и квантовых вычислений // Государственная регистрация программы для ЭВМ № 2014615608, 29.05.2014.