

# Натурное и имитационное моделирование централизованной системы управления транспортными роботами

Хтун Хтун Линн, С.А. Лупин, Чжо Най Зо Линн, Аунг Тху, Вей Ян Мин

**Аннотация**— В статье представлена имитационная модель централизованной системы управления транспортными роботами. Модель реализована в среде AnyLogic и использует сочетание агентного и дискретно-событийного подходов. Модель предназначена для оценки эффективности алгоритма централизованного распределения заявок между роботами. В качестве критерия эффективности транспортной системы используется время ожидания обслуживания. Для проведения натурных испытаний и оценки реализуемости алгоритма управления на практике разработана модель транспортного робота на основе микроконтроллера Arduino. Связь между центром управления и роботами осуществляется с помощью приемопередатчиков NRF24L01. Разработаны варианты тестовых последовательностей заявок на перемещение грузов идентичные для моделирования и натурных испытаний. Проведенные симуляции и эксперименты с моделями транспортных роботов показали достаточно близкое, но не абсолютное, совпадение результатов моделирования с натурными испытаниями. Для роботов, не имеющих сенсоров, определяющих координаты их текущей позиции, обеспечение высокой точности совпадения с результатами моделирования не представляется возможным. Однако это не мешает использовать разработанную имитационную модель и для оценки эффективности децентрализованных стратегий управления перед их имплементацией в техническую модель.

**Ключевые слова**— транспортные роботы; централизованная система управления; агентное моделирование; микроконтроллер Arduino.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация транспортных процессов и складская логистика неразрывно связаны с использованием робототехнических систем. Современные автономные роботы способны без участия человека комплектовать заказы, автоматически снимать необходимые товары с полки и размещать их в контейнерах или на поддоне, а также раскладывать товары по полкам.

Статья получена 28 февраля 2020.

Статья подготовлена в рамках гранта РФФИ № 19-01-00666 "Современные высокопроизводительные методы оптимизационного моделирования".

Чжо Най Зо Линн – аспирант Национального исследовательского университета «МИЭТ» (email: nayzawlin53@gmail.com)

Хтун Хтун Линн - аспирант Национального исследовательского университета «МИЭТ» (email: htunhtunlinn53@gmail.com),

Аунг Тху - аспирант Национального исследовательского университета «МИЭТ» (email: aungaungthu61050@gmail.com)

Вей Ян Мин - аспирант Национального исследовательского университета «МИЭТ» (email: waiyanminn54@gmail.com)

С. А. Лупин - профессор, Национальный исследовательский университет «МИЭТ» (e-mail: lupin@miec.ru).

Транспортные роботы играют в таких системах достаточно важную роль и обеспечивают не только выполнение погрузочно-разгрузочных работ в складских комплексах, но и транспортную логистику.

Автоматизация и роботизация транспортных процессов идет высокими темпами, поэтому вопросы повышения эффективности систем управления такими объектами являются весьма актуальной задачей. Мобильность роботов имеет важнейшее значение для тех задач, которые связаны с перемещением по местности, например, транспортировка предметов, обследование объектов, картирование, поисково-спасательные операции. В некоторых случаях централизованное управление реализовать сложно или даже невозможно, и тогда используют автономных мобильных роботов. Наряду с мобильной робототехникой в настоящее время развиваются и средства связи, сенсорные технологии, системы управления на основе искусственного интеллекта. Но, несмотря на значительные успехи во всех этих областях, создание полностью автономных роботов без контроля человека - это все еще задача будущего.

При создании систем управления люди часто используют решения, подсказанные природой. Поиском таких решений занимается бионика. Наблюдая за поведением стай птиц и рыб, муравьев и пчёл, животных, ведущих групповой образ жизни, люди заметили, что группа способна более эффективно решать задачи, чем отдельная особь. Поэтому при разработке алгоритмов управления системами, состоящими из нескольких роботов, часто используют аналогии с природой.

Мульти-робототехнические системы состоят из некоторого множества интеллектуальных роботов, которые могут воспринимать параметры окружающей среды, передавать и принимать сообщения. При этом для совместного выполнения задач они используют централизованное или децентрализованное управление. Благодаря устранению единой точки отказа и повышению эффективности работы, система из нескольких роботов превосходит одиночного робота в областях, которые требуют высокой надежности и ответственности. Реальные мульти-робототехнические системы находят применение при исследовании планет, в ходе поисково-спасательных операций, при обслуживании складских и производственных комплексов [1].

Архитектура мульти-робототехнических систем различается, и может быть разделена на шесть основных типов [2]:

- неосведомленные системы;
- осведомленные и нескоординированные системы;
- слабо скоординированные системы;
- сильно скоординированные централизованные системы;
- сильно скоординированные и слабо централизованные системы;
- сильно скоординированные и распределенные системы.

Принятие решений может быть централизованным или децентрализованным.

В централизованной системе с несколькими роботами сохраняется глобальная информация о состоянии всей системы. Система собирает информацию от всех роботов и отслеживает их положение в окружающей среде. Управляющий центр может построить карту на основе информации, полученной от роботов. Эта система находится либо в стационарном хосте, либо в одном из роботов, который играет роль мастера. Центр организует работу команды роботов для достижения общей цели. Он планирует задачи для отдельных членов команды и контролирует весь процесс.

Эта архитектура проста для проектирования и использования, однако она не устойчива к сбоям связи и нештатным ситуациям. Как правило, централизованное управление хорошо подходит для ограниченного числа роботов, которые работают в известных и неизменных условиях [3]. Централизованные роботизированные системы находят применение в автономной логистике и контроле транспорта. Удачным примером использования централизованного управления несколькими роботами является транспортная система в больнице Nemospice Na Homolce (рис. 1) [4]. Мобильные роботы транспортируют посуду и простыни по всему зданию. Они двигаются вдоль дорожек, обозначенных на полу, и могут даже пользоваться лифтами.



Рис. 1. Транспортные роботы в больнице Nemospice Na Homolce

Часто используемым в централизованных системах управления группой роботов является алгоритм следования за лидером (рис. 2). Этот алгоритм основан на поведении птиц или рыб в стае. Ведомые роботы следуют за лидером и повторяют его действия. Они получают информацию о действиях лидера с помощью датчиков или через сеть связи между ними.

В большинстве реализаций робот-лидер движется

вдоль заранее проложенных трасс, обозначенных линиями. Хотя все роботы оснащены датчиками, но только один лидер обладает способностью к навигации и достаточной вычислительной мощностью, чтобы выполнить продвинутую стратегию. Это означает, что лидер движется по назначенной траектории, а ведомые роботы сохраняют желаемое расстояние и ориентацию относительно робота-лидера. Для каждого робота сначала выполняется преобразование координат, чтобы определить его отклонение от нужного положения. Основанный на этом преобразовании алгоритм управления ведомым роботом нацелен на минимизацию ошибки текущего положения робота.



Рис. 2. Стратегия следования за лидером

Теоретически обоснованы централизованные архитектуры, которые координируют работу всех роботов из единой точки управления, но они практически нереализуемы из-за их уязвимости в отношении одной точки отказа (центра управления), а также сложности передачи состояния каждого робота в центр с частотой, необходимой для контроля в реальном времени. Эти подходы могут быть реализованы, если центральный контроллер имеет систему мониторинга, которая позволяет наблюдать за всеми роботами, и может легко передавать групповые сообщения всем управляемым им роботам.

В отличие от централизованной системы, децентрализованное управление не требует участия какого-либо мастера или лидера, который обладает всей полной информацией о состоянии системы и наблюдает за всем процессом. Вместо этого каждый робот является автономной единицей, которая действует в соответствии с состоянием своего окружения. Конечно, робот знает о присутствии других роботов и может иметь место локальная связь между ними. Сложное поведение группы возникает в результате взаимодействия между роботами и окружающей средой. Эта архитектура очень надежна, она может хорошо работать в недружественных средах и является масштабируемой. Потенциально большое количество однородных роботов может сотрудничать для достижения общей цели [3].

Децентрализованные архитектуры управления являются наиболее распространенным подходом для групп, состоящих из нескольких роботов, и, как

правило, требуют, чтобы роботы выполняли действия, основываясь только на знаниях, локальных для их ситуации. Такой подход к управлению может быть очень устойчивым к сбоям, поскольку ни один робот не отвечает за управление любым другим роботом. Однако достижение глобальной согласованности в этих системах может быть затруднено, потому что цели высокого уровня должны быть включены в локальное управление каждым роботом. Если цели меняются, может быть трудно переопределить поведение отдельных роботов [5].

В следующем разделе кратко рассмотрим особенности моделирования централизованной системы управления.

## II. ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГРУЗОПЕРЕВОЗКАМИ

Централизованная система управления предполагает, что задача позиционирования всех членов группы решается в едином центре. Для этого в центре управления (ЦУ) сосредоточены все необходимые вычислительные ресурсы. В соответствии с имеющейся информацией о конфигурации рабочего пространства ЦУ выполняет формирование целей для каждого из роботов, рассчитывает траектории движения с учетом их скоростей и возможных конфликтных ситуаций. При моделировании роботы могут быть представлены как агенты, которые по каналам передачи данных получают управляющие сигналы и переводят их в команды для исполнительных механизмов, то есть, они, безусловно, выполняют все инструкции центра.

В централизованных перевозках грузов участвуют несколько сторон:

- погрузка грузов осуществляется поставщиком;
- перевозка грузов обеспечивается транспортными предприятиями;
- выгрузка грузов осуществляется грузополучателем.

Централизованные перевозки эффективны при перемещении больших объемов грузов относительно небольшими партиями. В этом случае есть возможность более точного планирования загрузки и разгрузки за счет концентрации управления.

Преимущества централизованных перевозок грузов:

- повышается эффективность использования транспорта за счет сокращения простоев в пунктах погрузки и выгрузки грузов;
- упрощается подготовка документация на выпуск и прием грузов;
- упрощаются расчеты поставщиков грузов с транспортным предприятием;
- снижается численность персонала, необходимого для организации перевозок;
- повышается производительность водителей за счет работы на одних и тех же маршрутах и перевозки одних и тех же грузов;
- сокращается продолжительность процесса перевозки грузов;
- снижается стоимость перевозки.

Некоторые недостатки централизованных перевозок:

- снижается надежность перевозок для некоторых "невыгодных" потребителей;

- необходимо изменение порядка маркетинга организаций.

Для исследования централизованной системы управления складскими транспортными роботами в данной работе предложена имитационная модель, созданная в среде AnyLogic [6].

## III. СРЕДА МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC

Модель централизованной системы управления построена с использованием среды AnyLogic, которая поддерживает все современные методологии имитационного моделирования: системную динамику, дискретно-событийное и агентное моделирование. AnyLogic предоставляет разработчику возможность использования для создания моделей унифицированного языка, упрощающего построение агентных моделей. Унифицированный язык моделирования поддерживает диаграммы состояний, используемые для определения поведения агентов; диаграммы переходов, предназначенные для описания алгоритмов; объекты среды, используемые для описания среды существования агентов и сбора статистики об их поведении; а также механизмы описания случайных или определенных по времени событий, определяющих логику моделирования.

Интерфейс модели и её логику можно описывать с помощью графических библиотек, дополняемых программным кодом на языке Java. Важнейшим преимуществом AnyLogic, определившим выбор этой среды, является то, что она позволяет создавать гибридные модели, комбинируя агентный подход с дискретным или непрерывным описанием среды. Агентов можно встраивать и в диаграммы состояний. Наглядность процесса моделирования обеспечивается в AnyLogic посредством библиотек 2D и 3D анимации [6].

## IV. МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO

Для проведения натурных исследований и практической оценки реализуемости алгоритмов централизованного управления в данной работе использовались мобильные роботы, основным элементом системы управления которых, является микроконтроллер. При создании робота мы остановили свой выбор на микроконтроллере Arduino Uno серии Atmega 328p, который интегрируется в модели с приемопередатчиком NRF24L01. Внешний вид экспериментальных транспортных роботов показан на рисунке 3. В централизованной системе управления необходима связь между формирующим решением центром и исполнительными элементами.

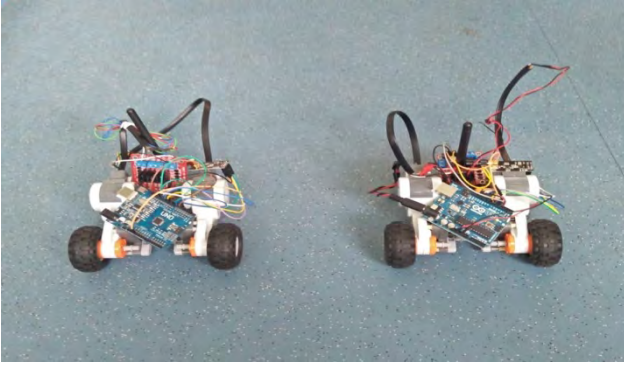


Рис. 3. Роботы, реализованные на микроконтроллере Arduino Uno с приемопередатчиком NRF24L01

Для связи центра управления и мобильных роботов мы используем беспроводную технологию, поддерживаемую приемопередатчиком NRF24L01. Из центра управления данные передаются ближайшему к очередной заявке роботу, а после того, как робот выполнит эту работу, он отправит отчет и свое измененное положение в центр. На рисунке 4 показаны условия проведения практического эксперимента для централизованной системы управления. Два робота стоят в своих исходных точках и ждут команды от центра управления, которую они получают через интерфейс приемопередатчика NRF24L01. Отметим, что роботы не могут самостоятельно принимать решения о выборе объекта обслуживания. Распределение заявок между исполнителями происходит только в центре управления.

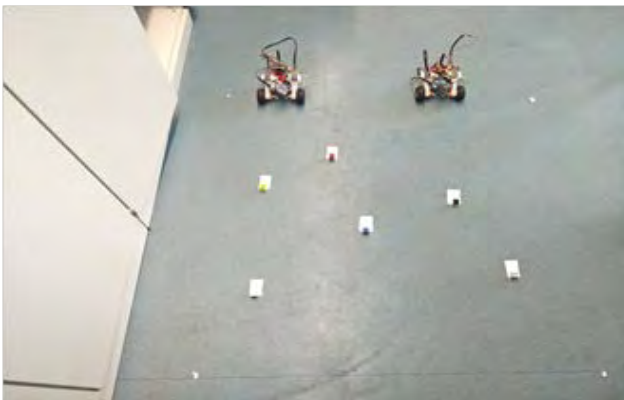


Рис. 4. Условия натурального эксперимента для централизованного управления

Координаты начального положения роботов приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Начальные положения роботов

Номер робота (ID)	Начальное положение		Статус
	X	Y	
1	3	0	.T.
2	8	0	.T.

Статус определяет состояние робота. Если он готов выполнять очередное задание, то его статус будет .T. (True), и .F. (False) в противном случае.

В Таблице 2 приведены координаты шести заявок, которые должны быть обслужены роботами. Заявки поступают на обслуживание с интервалом в 1 минуту.

Центр управления определяет ближайшего к очередной заявке свободного робота и отправляет ему соответствующую команду. Для определения ближайшего робота используется простейшая Манхэттенская метрика:

$$D = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$$

где:

$D$  - расстояние между положением робота и заявки;

$x_i, y_i$  - координаты текущего положения робота;

$x_j, y_j$  - координаты заявки.

Манхэттенская метрика отражает особенности системы управления движением роботов.

Таблица 2. Координаты заявок

Номер заявки	Координаты заявки	
	X	Y
1	3	4
2	5	5
3	2	7
4	6	2
5	8	3
6	9	8

Поскольку роботы не оснащены сенсорами, относительно высокую точность их позиционирования можно обеспечить при движении только в ортогональных направлениях, т.е. вдоль координатных осей [7].

## V. АГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ В ANYLOGIC

Разработка моделей транспортных систем с использованием агентных технологий пока не получила широкого распространения, поскольку подавляющее большинство логистических систем реализуют централизованное управление. Сегодня ситуация кардинально меняется. Во-первых, агентное моделирование стало одним из самых популярных методов, а, во-вторых, сами транспортные единицы становятся способными самостоятельно принимать решения, т.е. активно участвовать в процессе выполнения групповой задачи. Агенты являются активными субъектами, что отражает их способность участвовать в планировании перевозок и контроле. Агентные технологии играют роль частей или подсистем в процессе транспортировки. Описываемая в работе модель предназначена для исследования не только централизованных методов управления. Она должна иметь возможность оценки эффективности и децентрализованных стратегий, поэтому для ее реализации и был выбран агентный подход.

В модели используются два типа агентов: агенты - источники заявок на обслуживание и агенты - роботы, осуществляющие обслуживание заявок, т.е. перемещение некоторых грузов из одной точки в другую.

При создании модели использовались потоковые диаграммы из библиотеки обработки материалов, позволяющие отобразить логику процесса, которая включает в себя выбор ближайшего к заявке свободного

робота и доставку продукта из текущего местоположения в пункт назначения. Эта библиотека содержит полезные элементы для моделирования производственных линий и транспортировки грузов на складах и заводах, в том числе и с использованием автоматизированных управляемых транспортных средств. Для решения задачи автоматической маршрутизации единиц транспорта также использованы элементы библиотеки, поскольку это упрощает разработку модели и не ограничивает логику управления.

Блок-схема (рис. 4) показывает диаграмму формального представления процесса с использованием объектов библиотеки обработки материалов для централизованной системы управления [8].

Модель предназначена для исследования эффективности алгоритмов централизованного управления исполнительными элементами – транспортными роботами, с последующей проверкой полученных результатов в ходе натуральных экспериментов.

Источником заявок является элемент **Source**, который случайным образом формирует поток, используя данные, представленные в Таблице 2. Распределение заявок по исполнителям и передача команд роботам происходит в блоке **SeizeRobot**. За перемещение груза в модели отвечает блок **MoveByRobot**, а за разгрузку в точке назначения и формирования сигнала о завершении выполнения заявки – блок **Release Robot**.

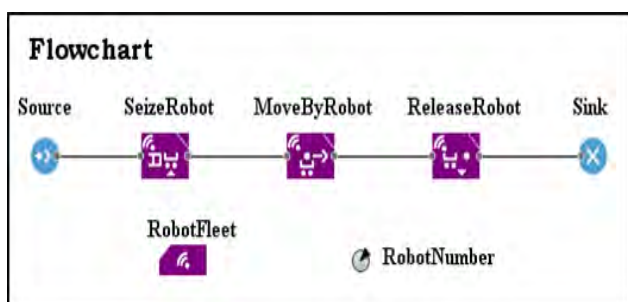


Рис. 5. Диаграмма процесса транспортировки

Логика работы исследуемой транспортной системы основана на двух процедурах: выборе ближайшего к текущей заявке свободного робота и перевозке некоторого условного груза из одного местоположения в другое. Координаты местоположений определены в заявке.

В исходном состоянии роботы находятся должны стоять на месте базирования (рис. 4). Каждому из них присвоен уникальный идентификатор – ID (Табл. 1). Последовательность появления заявок в модели определяется с помощью генератора случайных чисел. Частота появления заявок выбрана так, что возможны ситуации, когда заявка будет ожидать некоторое время назначения ей исполнителя. Каждая заявка предусматривает перемещение груза, масса которого не превосходит грузоподъемность робота. Задача комплексирования мелких попутных грузов в пакеты в модели не рассматривается. После доставки груза в точку назначения роботы не будут возвращаться на базу. Они ожидают команды на обслуживание следующей заявки в точке разгрузки. При запуске

модели результаты будут отображаться в виде 2D или 3D представления.

Описанную логику работы системы достаточно просто реализовать в централизованной системе управления. Наличие между исполнителями и центром устойчивых каналов информационного взаимодействия позволяет реализовывать даже стратегии с динамическим переопределением исполнителей.

В модели блок **SeizeRobot** контролирует погрузку продукта. Транспортные роботы перемещаются к источнику заявки и производят процесс погрузки. Время погрузки составляет 5 секунд. При натуральных экспериментах точность позиционирования роботов не определяется, поскольку они не оснащены соответствующими датчиками, но это не снижает информативности проводимых экспериментов, направленных на оценку эффективности алгоритма управления. Перемещение робота из точки загрузки к точке разгрузки в модели обеспечивает блок **MoveByRobot**. По умолчанию агент-робот сам определяет кратчайший маршрут по сети и предотвращает столкновения с другими роботами. Если не удалось избежать пересечения путей, то транспортеры останавливаются и через случайный интервал времени продолжают движение. Эта задержка использована для того чтобы симитировать сложное поведение роботов, которое обычно дистанционно контролируется оператором или автоматической системой. Разработанные нами модели роботов реализуют более простой механизм движения – из начальной точки в конечную они движутся сначала вдоль оси X, а затем вдоль оси Y.

Блок **ReleaseRobot** позволяет реализовать два варианта освобождения роботов. В первом случае после процесса разгрузки робот должен вернуться в базовое местоположение и только там он перейдет в состояние готовности к выполнению следующей заявки. Во втором варианте робот остается в пункте разгрузки до поступления следующей заявки. В модели реализован второй вариант управления, поскольку он точнее реализуется в натуральных экспериментах. Соответственно, освобождение робота (присвоение статуса **.T.**) происходит сразу после того, как груз будет доставлен к конечную точку.

На рисунке 6 показано 2D-представление результатов моделирования. Транспортировку грузов выполняет команда роботов, для каждого из них задана начальная позиция – база. Количество роботов в модели является задаваемым параметром. Максимальное значение этого параметра равно четырем. Прямоугольник красного цвета показывает расположение груза или координаты заявки. Движение роботов происходит по линиям заданной ортогональной сетки. Серые прямоугольники вне зоны движения отображают базовые местоположения роботов.

На рисунке 7 показано 3D-представление результатов моделирования. Один из роботов стоит на базе, второй движется к заявке, третий ожидает поступления заявки, а четвертый – обслуживает заявку.

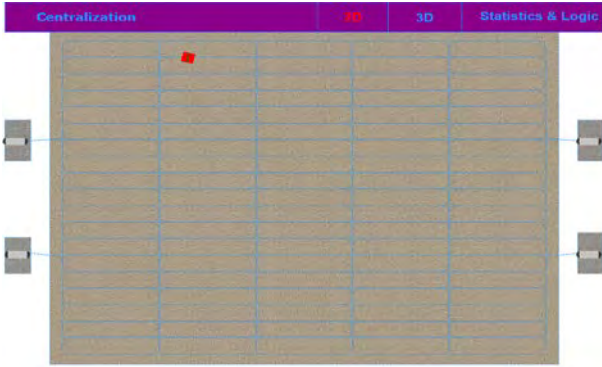


Рис. 6. 2D-представление результатов моделирования

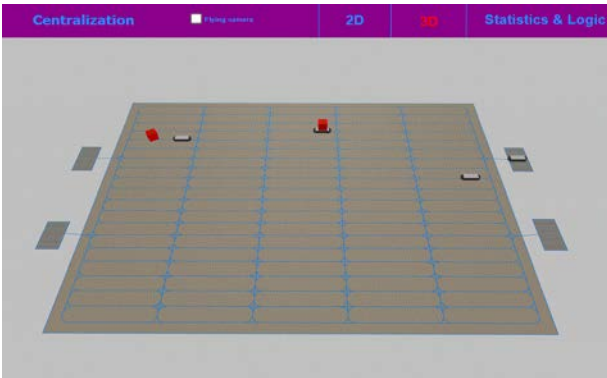


Рис. 7. 3D-представление результатов моделирования

Одним из основных критериев эффективности систем обслуживания является время ожидания. В моделируемой транспортной системе это время между появлением заявки и началом ее обслуживания. Разработанная модель позволяет отображать полученные результаты в виде гистограмм, что упрощает их анализ для пользователя.

#### VI. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Частота появления заявок была выбрана с учетом скорости движения роботов. В экспериментах заявки появляются через случайные интервалы времени. Для этого используется функция AnyLogic с нормальным распределением и математическим ожиданием одна минута. Время моделирования ограничено 1 часом, что соответствует времени автономной работы робота при полностью заряженном аккумуляторе. За время моделирования возможно появление 60 повторяющихся заявок, координаты которых представлены в таблице 2.



Рис. 8. Результаты моделирования

На рисунке 8 представлены результаты

моделирования для одного из экспериментов.

Поскольку заявки в модели формируются случайным образом, при повторном запуске мы получим несколько иные результаты, но характер распределения изменяется не существенно.

Последовательность формирования заявок записывается в файл для последующего воспроизведения в натурном эксперименте.

На рисунке 9 показаны результаты натурального эксперимента для той же последовательности формирования заявок, что и при моделировании. Следует отметить, что мы не ставили задачу обеспечения высокой воспроизводимости результатов эксперимента. Для роботов, не имеющих сенсоров позиционирования это невозможно.

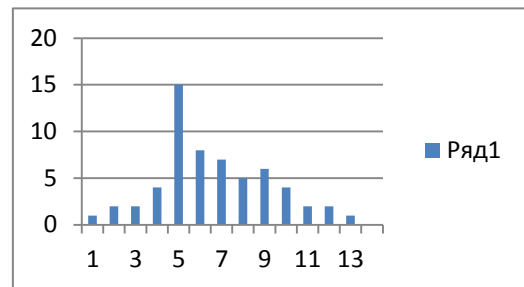


Рис. 9. Результаты натурального эксперимента

Отличие получаемых гистограмм имеется, но в целом, можно считать, что модель позволяет оценивать характеристики системы обслуживания с точностью, достаточной для сравнения различных стратегий.

#### VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная в системе AnyLogic модель централизованной системы управления транспортной роботизированной системой позволяет получать прогнозные характеристики качества обслуживания, с точностью, достаточной для сравнительного анализа эффективности различных стратегий. Представленная модель позволяет достаточно просто изменять как описание области движения роботов, так и их количество.

Дальнейшие исследования будут направлены на моделирование децентрализованного управления. При этом основной код модели не будет меняться. Необходимо изменить только логику работы блока *SeizeRobot* с учетом того, что транспортные роботы имеют возможность передачи и получения информации друг другу при помощи микроконтроллеров Arduino и WiFi модулей связи. Устойчивость систем связи между мобильными устройствами может быть обеспечена с помощью методов оптимизации топологии беспроводной сети [9, 10].

#### ПОДДЕРЖКА

Статья подготовлена в рамках гранта РФФИ 19-01-00666 "Современные высокопроизводительные методы оптимизационного моделирования"

#### БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] R. Siegwart, I. R. Nourbakh, "Introduction to autonomous mobile robots," 2004, pp. 1-2.

- [2] L. E. Parker, "Multiple mobile robot system", 2008, pp. 921.
- [3] Xu Ke, "Integrating centralized and decentralized approaches for multi-robot coordination," 2010, Vol. 107.
- [4] Z. Yan, N. Jouandeau, A. Cherif, "Multi-robot Heuristic Goods Transportation", Advanced Computing Laboratory of Saint-Denis (LIASD), Paris 8 University, 93526 Saint-Denis, France, The 6th IEEE International Conference Intelligent Systems, Sofia, Bulgaria, Sept 6-8, 2012, pp.409-414.
- [5] H. Zheng, Y.J. Son, Y.C. Chiu, L. Head, Y. Feng, H. Xi, S. Kim, M. Hickman, "A Primer For Agent-Based Simulation And Modeling In Transportation Applications," U.S. Department of Transportation, Federal Highway Authority (FHWA), 2013, Vol. 75.
- [6] AnyLogic. <http://www.anylogic.com/overview>
- [7] J.J. Meyer, L.V. Moergestel, E. Puik, D. Telgen, M. Kuijl, B. Alblas, J. Koelewijn, "A Simulation Model for Transport in a Grid-based Manufacturing System," INTELLI 2014: The Third International Conference on Intelligent Systems and Applications, pp.1-7.
- [8] Htun Htun Linn, Kyaw Naw Zaw Linn, Sergey Lupin. "Data Structure and Simulation of the Centralized Control System for Transport Robots," IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2019, p. 1880-1883.
- [9] I. Mas and C. Kitts. "Centralized and Decentralized Multi-robot Control Methods using the Cluster Space Control Framework," In Proceedings of the 2010 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Canada, July 6-9, 2010, pp.115-122.
- [10] Лупин С.А., Ай Мин Тайк, Федяшин Д.А. Оптимизация топологии беспроводных сетей - решение для направленных антенн. International Journal of Open Information Technologies. №7, 2018, с. 32-38

# Full-scale and Simulation Modeling of a Centralized Control System for Transport Robots

Htun Htun Linn, S. Lupin, Kyaw Nay Zaw Linn, Aung Thu, Wai Yan Min

*Abstract— The article presents a simulation model of a centralized control system for transport robots. The model is implemented in the AnyLogic environment and uses a combination of agent and discrete-event approaches. The model allows for estimating the effectiveness of the centralized distribution of transport tasks between robots. As a criterion for the effectiveness of the transport system, the waiting time for the service is used. To conduct field tests and assess the feasibility of the control algorithm in practice, a model of a transport robot based on the Arduino microcontroller has been developed. Communication between the control center and the robots provides by using the NRF24L01 transceivers. Variants of test sequences of applications for the movement of goods are identical for modeling and field tests. The simulations and experiments with models of transport robots showed a reasonably close, but not absolute, coincidence of the simulation results with field tests. For robots that do not have sensors that determine the coordinates of their current position, ensuring high accuracy of coincidence with the simulation results is not possible. However, this does not prevent the use of the developed simulation model for assessing the effectiveness of decentralized management strategies before their implementation in the technical model*

*Keywords— transport robots; centralized control system; agent modeling; microcontroller Arduino.*

## REFERENCES

- [1] R. Siegwart, I. R. Nourbakhsh, "Introduction to autonomous mobile robots," 2004, pp. 1-2.
- [2] L. E. Parker, "Multiple mobile robot system", 2008, pp. 921.
- [3] Xu Ke, "Integrating centralized and decentralized approaches for multi-robot coordination," 2010, Vol. 107.
- [4] Z. Yan, N. Jouandeau, A. Cherif, "Multi-robot Heuristic Goods Transportation", Advanced Computing Laboratory of Saint-Denis (LIASD), Paris 8 University, 93526 Saint-Denis, France, The 6th IEEE International Conference Intelligent Systems, Sofia, Bulgaria, Sept 6-8, 2012, pp.409-414.
- [5] H. Zheng, Y.J. Son, Y.C. Chiu, L. Head, Y. Feng, H. Xi, S. Kim, M. Hickman, "A Primer For Agent-Based Simulation And Modeling In Transportation Applications," U.S. Department of Transportation, Federal Highway Authority (FHWA), 2013, Vol. 75.
- [6] AnyLogic. <http://www.anylogic.com/overview>
- [7] J.J. Meyer, L.V. Moergestel, E. Puik, D. Telgen, M. Kuijl, B. Alblas, J. Koelewijn, "A Simulation Model for Transport in a Grid-based Manufacturing System," INTELLI 2014: The Third International Conference on Intelligent Systems and Applications, pp.1-7.
- [8] Htun Htun Linn, Kyaw Nay Zaw Linn, Sergey Lupin. "Data Structure and Simulation of the Centralized Control System for Transport Robots," IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2019, p. 1880-1883.
- [9] I. Mas and C. Kitts. "Centralized and Decentralized Multi-robot Control Methods using the Cluster Space Control Framework," In Proceedings of the 2010 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Canada, July 6-9, 2010, pp.115-122.
- [10] Lupin S.A., Aj Min Tajk, Fedjashin D.A. Optimizacija topologii besprovodnyh setej - reshenie dlja napravlennyh antenn. International Journal of Open Information Technologies. #7, 2018, s. 32-38