Национальный исследовательский
Томский государственный университет

КОЛЛЕКТИВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РОБОТОВ. СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Под редакцией докт. техн. наук, профессора
В.И. Сырямкина

Серия: “Интеллектуальные технические системы”
(подсерия: “Когнитивная робототехника”)

Scientific & Technical Translations
STT
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Томск – 2018

УДК 004.896
К 60

Авторы:

В.С. Боровик, В.И. Гуцул, С.А. Клестов, И.С. Фирсов, В.С. Пыхтырев, В.В. Шатравин, В.И. Сырямкин, С.В. Шидловский, Д.В. Шашев, К.Т. Нгуен, Д.А. Угрюмов, М.В. Сырямкин

К 60 **Коллективы интеллектуальных роботов. Сферы применения** / под ред. В.И. Сырямкина. – Томск : STT, 2018. – 140 с. (Серия: “Интеллектуальные технические системы” (подсерия: “Когнитивная робототехника”)).

ISBN 978-5-93629-617-8

Монография посвящена проблемам управления группами мобильных роботов в различных областях применения.
Для широкого круга специалистов в области робототехники.

УДК 004.896

Серия: “Интеллектуальные технические системы”
(подсерия: “Когнитивная робототехника”)



Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-29-04388 от 2017 г.), а также по программе повышения конкурентоспособности НИ ТГУ

ISBN 978-5-93629-617-8

© В.С. Боровик, В.И. Гуцул, С.А. Клестов, И.С. Фирсов, В.С. Пыхтырев, В.В. Шатравин, В.И. Сырямкин, С.В. Шидловский, Д.В. Шашев, К.Т. Нгуен, Д.А. Угрюмов, М.В. Сырямкин, 2018
© Дизайн. Макет. STT™, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений 5
Введение 6
Глава 1. **Системы связи группами транспортных летательных роботов. Основы проектирования “стаи”, “роя” транспортных летательных роботов** 11
1.1. Введение. 11
1.2. Групповая робототехника. 12
1.3. Стратегии управления коллективом роботов 14
1.3.1. Централизованные стратегии управления .. 14
1.3.2. Децентрализованное управление 15
1.3.3. Роевое управление БПЛА 15
1.4. Организация связи между роботами роя 21
1.5. Примеры воздушных роботов на основе роевого интеллекта 25
1.6. Заключение 27
Глава 2. **Проблемы управления группами транспортных наземных и летательных роботов** 28
2.1. Групповое взаимодействие роботов 28
2.1.1. Виды централизованного управления 30
2.1.2. Виды децентрализованного управления 30
2.2. Проблемы группового управления 31
2.2.1. Критерий эффективности 32
2.3. Управление группами роботов в стационарных и сложных нестационарных средах. 32
2.3.1. Управление группами роботов в стационарных условиях 32
2.3.2. Управление группами роботов в сложных нестационарных средах 33

2.4. Управление группами роботов в условиях противодействия 34
2.4.1. Управление большими группами роботов 36
2.5. Борьба “стаи” и “роя” транспортных летательных роботов с беспилотными летательными аппаратами. 37
2.5.1. Примеры БПЛА 37
2.5.2. Этапы борьбы с БПЛА 39
2.6. Заключение 41
Глава 3. **Моделирование динамики полета БПЛА** 42
3.1. Введение 42
3.2. Формальное описание динамики движения 42
3.3. Описание объекта регулирования 46
3.4. Математическая модель платформы 48
3.5. Основные режимы движения БПЛА 51
3.6. Принципы трехмерного твердотельного моделирования 55
3.7. Моделирование динамики полета 58
3.8. Заключение 60
Глава 4. **Сферы применения роботов** 61
4.1. Военные и разведывательные роботы 61
4.2. Медицинские роботы 90
4.3. Нанороботы в медицине 101
4.4. Роботы в образовании 106
4.5. Кухонные роботы 110
4.6. Развлекательные роботы 117
4.7. Анализ отрасли информационно-развлекательных роботов 130
Литература 133

Список сокращений

БПЛА	–	беспилотный летательный аппарат;
ДПЛА	–	дистанционно-пилотируемым летательным аппаратом;
АЦП	–	аналогово-цифровой преобразователь;
ЦАП	–	цифро-аналоговый преобразователь;
ПО	–	программное обеспечение;
РИ	–	роевой интеллект;
ЦУУ	–	устройства управления роботов;
ТР	–	транспортный робот;
СПР	–	стационарный погрузочный робот;
ГВК	–	глобальной видеокамеры
КСиПОД	–	контроллера связи и предварительной обработки данных;
МПД	–	модулей планирования действий;
ЗСК	–	земную систему координат;
НСК	–	подвижную (нормальную) систему координат;
HIL	–	Hardware-in-the-Loop.

Введение

Робототехника – раздел фундаментальной и прикладной науки, который занимается проектированием, производством и применением автоматических и автоматизированных технических систем – роботов. Робот – это перепрограммируемое механическое устройство целевого назначения, способное действовать без помощи человека [1].

Для разработчиков большой интерес предъявляют мобильные роботы.

Эти роботы могут перемещаться по любой поверхности, в воде и в воздухе. Так, по типу передвижения роботы бывают:

- Колесными и гусеничными (наиболее распространенный вид роботов);
- Шагающими;
- Летающими – автопилоты и беспилотные летательные аппараты;
- Ползающими – передвигаются по принципу змей и червей и применяются для поиска людей под обломками рухнувших зданий;
- Плавающие – перемещаются в воде, подражая движениям рыб, и тем самым становятся бесшумными и очень маневренными;
- Роботы, передвигающиеся по вертикальным поверхностям – действуют по принципу человека, взбираясь на стену с помощью выступов, или же с помощью специальных присосок.

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) – летательный аппарат без экипажа на борту [6].

БПЛА могут обладать разной степенью автономности – от управляемых дистанционно до полностью автоматических, а

также различаться по конструкции, назначению и множеству других параметров. Управление БПЛА может осуществляться эпизодической подачей команд или непрерывно – в последнем случае БПЛА называют дистанционно-пилотируемым летательным аппаратом (ДПЛА) [2]. Основным преимуществом БПЛА/ДПЛА является существенно меньшая стоимость их создания и эксплуатации (при условии равной эффективности выполнения поставленных задач) – по экспертным оценкам боевые БПЛА верхнего диапазона сложности стоят приблизительно $6 млн долл. США, в то время как стоимость сопоставимого пилотируемого истребителя составляет около 100 миллионов долларов [3]. Недостатком БПЛА является уязвимость систем дистанционного управления, что особенно важно для БПЛА военного назначения [4].

История. В конце XIX века, если быть точными, то в 1899 году, небезызвестный изобретатель, физик и инженер Никола Тесла сконструировал и продемонстрировал общественности первый в мире радиоуправляемый кораблик, что не осталось незамеченным в ученой среде и дало свой толчок развитию сферы управляемых объектов.

Несмотря на общий посыл Николы Тесла, следующим "беспилотником" оказалось не судно, а самый обыкновенный летательный аппарат. Военный инженер и изобретатель Чарльз Кеттеринг в 1910 году, вдохновленный успехами братьев Райт, предложил создать летательный аппарат, управляемый не человеком, а часовым механизмом, который в определенное время сбрасывал свои крылья и падал на врага. Удивительно, но, несмотря на инновационную и экстравагантную идею, Кеттерингу дали зеленый свет и с помощью финансирования из армии США ему удалось создать несколько рабочих моделей. Увы, после нескольких испытательных полетов, прошедших с переменным успехом, проект сошел на нет и в боевых действиях во время Первой Мировой войны разработка участия не принимала.

Впрочем, по-настоящему прорывным для беспилотников XX века стал 1933 год, который официально считается родоначальником всех дальнейших разработок. Именно в этот год силами

инженеров Великобритании был разработан первый БПЛА, который, к слову сказать, был ко всему прочему многократного использования. Проект получил название DH.82B Queen Bee, и представлял собой отреставрированные модели бипланов Fairy Queen, которыми дистанционно управляли с корабля по радио. И именно этому беспилотнику было суждено стать самолетом-мишенью для будущих асов и зенитчиков. DH.82B Queen Bee служил ВВС ее Величества с 1934 года по 1943 [10].

Естественно, мимо подобного новшества во время Второй Мировой войны не могли пройти мимо ни Германия, ни СССР, ни США. Так, например, Германия использовала управляемые бомбы Henschel Hs 293 и Fritz X, которые успешно показали себя во время ведения боевых действий в Средиземном море, однако в массовое производство суждено было попасть не им, а "самолету-снаряду" ракете Фау-1, а с 1942 года, Фау-2. А вот в СССР времен Второй Мировой проектируемым конструкциям воплотиться в реальность не удалось, несмотря на попытки авиаконструктора Василия Никитина. Именно его стараниями существовал проект беспилотной летающей ракеты, чья дальность полета составляла от 100 км и более при скорости в 700 км/ч, но как уже говорилось, проект остался лишь на бумаге. Впрочем, в 1941 году СССР был успешно применен тяжелый бомбардировщик ТБ-3 в качестве беспилотного самолета для подрывов мостов [12].

А вот США пошли по стопам Великобритании и запустили в массовое производство беспилотники Radioplane QQ-2, которые использовали как самолеты-мишени. Более того, за время Второй Мировой, фирма Radioplane создала для ВВС США почти 15 тысяч подобных БПЛА, в том числе модели QQ-3 и QQ-14. Интересно, что авторство данных беспилотников принадлежит Дени Ридженатальту, который в 30-ых года XX века был преуспевающим актером и по происхождению являлся британцем. Однако позже проявил интерес к радиоуправляемым моделям, а в 1934 году открыл свой магазин в качестве хобби. Однако наиболее успешной разработкой США можно считать беспилотный ударный бомбардировщик Interstate TDR-1, который сравним

лишь с Фау-1 и может считаться первым в мире беспилотным летательным аппаратом подобного типа и специализации. По 1944 год было выпущено несколько модификаций TDR-1: XTDR-1, TDR-1, XTD2R-1, XTD3R-1, XTD3R-2, TD3R-1. Однако, несмотря на обилие модификаций, в серийный выпуск попали лишь сам TDR-1 – более 180 штук и TD3R-1 – заказ в 40 штук, который, впрочем, позже был отменен [18].

Несмотря на то, что после Второй Мировой войны БПЛА так или иначе активно использовались лишь США и СССР, на данный момент ведущим лидером в разработке и применении беспилотников считается именно США. Достаточно сказать лишь то, что в 2012 году беспилотные летательные аппараты, состоявшие на вооружении ВВС США, составили 7494 штук, в то время как пилотируемых аппаратов насчитывается почти 11 тысяч.

В данный момент по значимости развития технологий в данной сфере необходимо отметить не только США, но и Россию, Израиль, а также Великобританию, расширившую свой парк беспилотных летательных аппаратов в марте 2014 года [24].

Гражданские беспилотные летательные аппараты. История развития гражданских дронов насчитывает гораздо меньше времени в отличие от своих военных предков, ведь первые гражданские беспилотники появились лишь в 2000 году и существенно отличались от своих предшественников, однако темпы развития этой отдельной ветви впечатляют гораздо сильнее. Уже сейчас в США законодатели серьезно обеспокоены, а в это время все чаще и чаще появляются стартапы, предлагающие производить не только крупные беспилотные самолеты, но и дроны для быта [36].

Одним из наиболее ярких примеров на данный момент является проект американской компании Amazon. Так, в декабре прошлого года, глава Amazon Джефф Безос пообещал своим пользователям действительно футуристический вариант доставки купленных через их интернет-магазин товаров. План Безоса состоит в том, что если вы находитесь на расстоянии не более 15 км от складов компании и совершили покупку, то буквально

через полчаса к вам на порог приземлится дрон и оставит посылку. Звучит как минимум занимательно. Еще одним условием подобной затеи является вес посылки, которая не должна быть тяжелее 2 кг (к слову сказать, более 80% заказов Amazon весят меньше этой цифры). Данное техническое новшество, по словам Безоса должно увидеть мир в 2015 году. И все было бы хорошо, если бы не несколько моментов, которые заставляют усомниться в осуществлении данной задумки в жизнь. Причин тому несколько, среди которых есть как забавные (например, вашего почтового дрона может по дороге сбить меткий стрелок и забрать посылку, например научно-технические), а вот в Европе все далеко не так радужно. Помимо отсутствия правовой базы касательно данного вопроса, европейцы просто не могут позволить себе вкладываться в программу по развитию беспилотных летательных аппаратов не только для военных, но и тем более для гражданских целей. Как считают эксперты, по причине общеевропейского подхода к вопросу, существует вероятность того, что рынок смогут занять производители из развивающихся стран, будь то Китай, Турция или ЮАР [41].

Глава 1
СИСТЕМЫ СВЯЗИ ГРУППАМИ ТРАНСПОРТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ РОБОТОВ. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ "СТАИ", "РОЯ" ТРАНСПОРТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ РОБОТОВ

1.1. Введение

На данный момент робототехника достигла достаточно большого прогресса в реализации сложных робототехнических комплексов на базе одиночного робота, решающего согласно заданным алгоритмом поставленные перед ним задачи. Однако существует множество прикладных задач, в которых применение одного сложного устройства является менее целесообразным, по сравнению с использованием группы относительно простых взаимодействующих друг с другом роботизированных единиц.

Долгое время основную часть беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) составляли дистанционно-пилотируемые устройства. Однако, современное развитие техники привело к созданию автономных аппаратов, способных самостоятельно выполнять поставленную задачу при минимальном участии человека. При этом, около 95% всех современных БПЛА являются микро- и миниБПЛА, что говорит о их высокой востребованности [3].

Одним из основных факторов популярности микро- и миниБПЛА является малая стоимость их серийного производства, доходящая до 10$ за единицу. Применение роевых систем на базе автономных микроБПЛА может снизить затраты на использование и сопровождение системы, увеличить отказоустойчивость, масштабируемость и гибкость, повысить эффективность решения поставленной задачи. Однако решение задач управле-

ния коллективом роботов и организации взаимодействия между отдельными "особями" роя в общем случае представляет значительную сложность. Решением данного класса задач занимается групповая робототехника.

1.2. Групповая робототехника

Это относительно новый подход к координации систем многих роботов, каждый из которых является достаточно простым устройством. В отличие от просто распределенных робототехнических систем, групповая робототехника подчеркивает большое количество роботов, а также предполагает масштабируемость, т.е. возможность быстрого перехода системы на работу с другим количеством особей. Желаемое коллективное поведение возникает из взаимодействий роботов между собой и с окружающей средой [5]. Это проявление одного из законов системного анализа – эмерджентности, заключающегося в том, что система, состоящая из совокупности объектов, может обладать свойствами, не присущими отдельным объектам. Основные преимущества, получаемые при использовании коллектива роботов:

- повышение надежности (утрата части членов коллектива не влияет на работоспособность всей системы в целом);
- гибкость (способность системы к реконфигурации);
- потенциальная возможность развития и усложнения решаемых задач путем наращивания мощности коллектива.

Современные приложения использования коллективного поведения роботов весьма многогранны:

- командная работа роботов, совместно выполняющих диагностику труднодоступных объектов;
- мониторинг окружающей среды;
- коллективное решение задач роботами-спасателями;
- разведка и рекогносцировка;
- военные применения;
- коллективная обработка объектов окружающей среды;
- охранные функции, патрулирование и др.

Особенно важно коллективное взаимодействие роботов тогда, когда мы имеем дело с мини- и микроботами. Будучи крайне ограниченными в своих возможностях, эти роботы способны решить поставленную задачу лишь при их массовом применении. Примером такого применения микроботов может служить так называемая "интеллектуальная (умная) пыль", когда с самолета сбрасывается "туча" микроботов, каждый из которых должен выполнять некоторые простейшие функции, например, сбора информации о покрываемой территории или поражения объектов противника.

Также существуют примеры реализации коллектива роботов, состоящего из моделей разного типа и назначения, каждая из которых предназначена для решения своего класса задач [9].

Очевидно, что существует целый ряд специфических проблем, характерных для коллективной работы роботов. Среди них можно отметить такие, как:

- непредсказуемая динамика внешней среды вплоть до сознательного противодействия;
- неполнота и противоречивость знаний роботов (агентов) о состоянии внешней среды и о других участниках;
- многообразие вариантов путей достижения цели, структур коллектива, распределения ролей и т.д.;
- распределенный и динамический характер планирования действий коллектива;
- проблемы, связанные с тем, что коллектив представляет собой совокупность физических объектов, действующих в реальной сложной среде (проблемы надежной коммуникации, распределенность коллектива в пространстве и проч.);
- прочие технические проблемы (архитектура сети, протоколы, операционные средства и т.д.).

На сегодняшний день исследования в области коллективного поведения роботов можно разбить на следующие направления:

1. "Строгое" математическое решение. Речь идет об исследованиях в области теории систем, создании формальных моделей и механизмов коллективного поведения.
2. Технологии многоагентных систем (МАС).

3. Имитационное моделирование, т.е. реализация моделей взаимодействующих субъектов (роботов), при этом за основу берутся биологические объекты. Сюда же можно отнести и исследования в области так называемой искусственной жизни.
4. Роевые, пчелиные и муравьиные алгоритмы. Это методы, исследующие внешние, сугубо феноменологические стороны поведения живых организмов. Подобного рода методы и алгоритмы лежат в основе т.н. роевого интеллекта.
5. Эволюционные методы. Основная задача – реализация эволюционным путем механизмов внутристайного (внутрироевого) взаимодействия [6].

1.3. Стратегии управления коллективом роботов

Эффективность применения групп роботов во многом зависит от выбранной стратегии управления. Различают централизованные и децентрализованные стратегии.

1.3.1. Централизованные стратегии управления

При централизованной стратегии управления используется центральное устройство, которому доступна информация о состоянии всех роботов группы и окружающей их среде. Оно оценивает текущую ситуацию и принимает решение о дальнейшем поведении роботов группы. Центральное устройство может быть расположено как за пределами группы (например, на пульте управления оператора), так и на одном из членов группы (централизованное управление "с ведущим").

Централизованные стратегии имеют хорошие показатели при управлении небольшими группами роботов. При увеличении численности, растет нагрузка на канал связи и устройства управления. Одним из способов решения является реализация иерархической модели, при которой группа делится на подгруппы, каждая из которых управляется своим лидером. Группа лидеров также имеет своего лидера и так далее, в зависимости от количества уровней иерархии. В случае фиксированных лидеров возможна ситуация, когда лидер вышел из строя, и группа потеряла управление.

1.3.2. Децентрализованное управление

К децентрализованным стратегиям относят коллективные, стайные и роевые стратегии управления.

При коллективной стратегии управления каждый робот передает в канал связи всю собранную им информацию об окружающей среде и о собственном состоянии, а также получает из него всю информацию о состоянии других особей коллектива. Таким образом, информационный обмен в случае коллективной стратегии осуществляется по принципу "все со всеми". При этом каждый робот самостоятельно оценивает сложившуюся ситуацию и принимает решение о своих дальнейших действиях. Коллективные стратегии позволяют группе сохранять работоспособность в случае выхода из строя отдельных членов коллектива. Однако возрастает нагрузка на бортовые вычислительные системы роботов, так как им необходимо оперативно обрабатывать всю получаемую информацию. Эта стратегия позволяет строить группы, превосходящие по размерам группы с централизованным управлением, тем не менее, масштабируемость остается на недостаточно высоком уровне.

При стайной стратегии управления отсутствует выделенный канал связи между членами группы. Каждый робот самостоятельно собирает информацию из доступного ему окружающего пространства и принимает решение о собственном поведении для достижения общей цели. Отсутствие коммуникации между отдельными роботами делает данный подход эффективным только на задачах, допускающих распараллеливание на независимые несвязные подзадачи. Главное достоинство – легкая масштабируемость [10].

Наиболее перспективным и комплексным подходом являются методы на основе роевого управления коллективом БПЛА.

1.3.3. Роевое управление БПЛА

Как уже было сказано раннее, одной из главных проблем, стоящий при проектировании комплекса летательных роботов является сложность обеспечения радиосвязи с операторским пультом управления. Малые габариты накладывают строгие ограничения на переносимый вес, мощность используемых систем

связи, а также длину приемо-передающих антенн. При этом, для реализации централизованной стратегии управления каждому БПЛА требуется канал связи с пропускной способностью в несколько Мбит/с для передачи собранной информации.

Одним из путей решения данной проблемы может быть построение централизованной иерархической стратегии управления, при которой связь с центральным устройством имеют лишь некоторые БПЛА, каждый из которых распределяет команды внутри своей подгруппы. Небольшие дистанции между соседними аппаратами приводят к малым энергозотратам на обмен. Однако данная модель обладает невысокой устойчивостью и требует постоянного соединения "лидера" с центральным устройством управления.

В качестве более оптимального решения проблемы информационного обмена в группах БПЛА предлагается использовать методы роевого управления.

Роевое управление представляет собой новый подход, изучающий возможности построения системы из совокупности автономных интеллектуальных агентов (роботов) для достижения коллективных целей, которые не могут быть достигнуты отдельным роботом или для которых коллективное выполнение поставленной задачи более эффективно. Основополагающей идеей роевого управления является "роевой интеллект" (РИ, Swarm Intelligence), широко наблюдаемый в природном мире: косяки рыб, колонии пчел, муравьев и прочие. Термин "роевой интеллект" был введен в 1989 году в контексте исследования системы клеточных "роботов". Роевой интеллект – это система, реализующая управление коллективным поведением децентрализованной самоорганизующейся совокупностью однородных объектов. Он рассматривается в теории искусственного интеллекта как метод "не до конца формализуемой оптимизации". В связи с большим интересом к данному методу было сформировано отдельное направление "роевая робототехника".

В группе БПЛА, взаимодействующих на основе роевого интеллекта, каждый аппарат осуществляет взаимодействие лишь с небольшим количеством ближайших к нему аппаратов (рис. 1.1), дальность связи и энергозатраты на обмен данными неве-

лики. Особи самостоятельно принимают решение о текущем поведении, опираясь на собранные ими данные об окружающей среде, а также на данные, полученные от соседних роботов, которые оформляются в виде локальных правил (local rules) [9]. Энергозатратная связь может осуществляться лишь изредка, причем не всеми членами роя.

Роевое управление позволяет решить также проблему сбора данных об окружающей среде. В связи с малой грузоподъемностью БПЛА, они не имеют достаточной энергии для установки мощных датчиков с приемлемой областью детектирования. Это приводит к тому, что каждый аппарат способен получить информацию лишь с малого радиуса вокруг себя. Однако, благодаря применению роевой модели, информация, собранная каждым устройством, в процессе обмена передается его соседям, дополняя их данные о воздушных потоках, препятствиях и других важных параметрах среды.

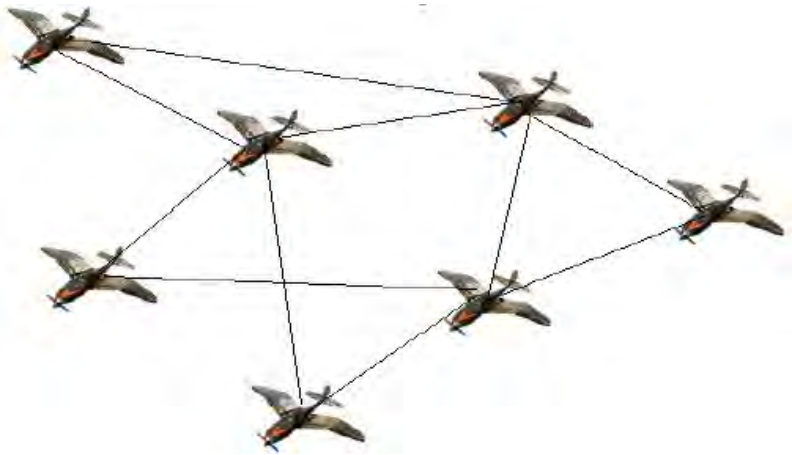


Рис. 1.1. Связь между роботами при роевой стратегии

Выделяют два вида роевого управления (рис. 1.2). Первый из них можно отнести к самоорганизующимся системам, характерным природным образованиям. Признаки биологической самоорганизации:

- каждая особь в рое не обладает индивидуальным сознанием и свободой выбора;
- правила поведения определяются генетическим набором, заложенным в каждую особь;
- квазиразумная деятельность роя направлена на сохранение роя как целого и обеспечение его безопасности;
- рой, как правило, состоит из представителей одного вида;
- роли особей могут различаться (в колониях муравьев, термитов, пчел и т.д.).

Для такого роя нет какой-либо централизованной системы управления поведением каждой особи. Локальные и, в достаточной степени, случайные взаимодействия приводят к возникновению "квазиинтеллектуального" глобального поведения роя, которое может не контролироваться отдельными агентами. В этом случае мы имеем многоагентную систему, которая обладает самоорганизующимся поведением и которая, суммарно, должна проявлять некоторое "разумное" поведение.

Второй вид РИ предполагает наличие управления, причем управляющие воздействия могут поступать как от внешней по отношению к рою управляющей системы, так и от "назначенного" или "локального" лидера (агента), находящегося внутри роя. В первом случае "назначенный" лидер (т.н. "ведущий робот") выполняет команды, поступающие от внешнего управляющего центра, а остальные агенты выполняют действия, подчиняясь достаточно простым правилам. Например, если агенты (роботы) перемещаются по плоскости с заданием образовать определенную конфигурацию, то правила могут быть следующими:

1) Расчет расстояния от начальной точки;
2) Выстраивание в группу;
3) Образование заданного градиента плотности;
4) Локализация.



Рис. 1.2. Два вида роевого управления

Если агенты перемещаются в пространстве, то они должны:

- соблюдать дистанцию между собой и другими объектами, а том числе другими особями роя, а также придерживаться заданного построения. Например, выполняя задачу сбора информации о некоторой территории, БПЛА должны минимизировать перекрытие рабочих зон датчиков, и при этом избежать образования "белых пятен" [12];
- корректировать курс согласно движению соседних устройств и роя в целом;
- поддерживать связь с соседними аппаратами.

Критерии, являющиеся отличительными чертами роевой системы:

- агенты (роботы) являются автономными, то есть способны двигаться и взаимодействовать с окружающей средой без централизованного управления;
- задача должна выполняться в совокупности большим количеством объектов, это означает, что система должна быть разработана с учетом масштабируемости;

– рой состоит из однородных групп агентов (роботов), упор делается на большое количество одинаковых объектов, нежели на централизованно-управляемые гетерогенные объекты, где каждому агенту (роботу) назначена "персональная" роль.

Возможные стратегии управления роевой системой:

– централизованная – дистанционное управление с выделенной базовой станцией, лидер роя назначается из центрального узла;
– децентрализованная – лидер роя определяется на основе какого-либо алгоритма и не зависит от центральной управляющей станции;
– смешанная – совмещает в себе преимущества централизованной и децентрализованной стратегий путем выделения лидера роя на основе одного из алгоритмов с передачей прав управления оператору при необходимости [6].

В зависимости от характера информационного обмена в рое возможны два сценария:

1) Робот, обнаруживший цель, сообщает соседним роботам ее координаты, которые передают эту информацию по цепочке своим соседям, пока она не станет известна всем роботам группы; затем они меняют траекторию по направлению к цели;
2) Робот, обнаруживший цель, не может сообщить ее координаты другим роботам роя; при этом, он изменяет траекторию движения по направлению к цели; другие роботы, связанные с ним правилами допустимых дистанций, следую за ним, т.е. он становится "ведущим" роботом.

Несмотря на все достоинства роевой робототехники, она обладает и недостатками:

1. Объектами управления являются многочисленные группы небольших роботов, что требует наличия их относительно недорогого массового производства;
2. Отсутствие общей теории и подходов в создании и разработке методов роевого управления группами роботов. По сути, каждая новая задача сейчас решается практически "с нуля". Значительная часть исследований посвящено использованию природных аналогов методов роевого интеллекта для реше-

ния технических задач (муравьи, пчелы, косяки рыб, стаи птиц). Однако различия в задачах и возможностях природных и технических систем значительно осложняют поиск и адаптацию природных алгоритмов к решению технических задач [1–10].

Массачусетский технологический институт США в 2016 году разработал и опубликовал работы по реализации роевого интеллекта для управления коллективом роботов (как наземного, так и воздушного) в условиях изменчивой окружающей среды и динамических препятствий [11].

1.4. Организация связи между роботами роя

Одним из важных вопросов проектирования роя роботов является способ организации коммуникации между отдельными членами группы. Как показано в [9], наиболее популярными решениями являются решения на базе радиосигналов (сети Wi-Fi, GPRS, Ad hoc и беспроводные сенсорные сети), а также подходы на основе звуковых и ИК-сигналов. Для всех этих решений характерно кодирование информации в дискретные либо аналоговые сигналы на основании предварительно заданного и известного управляющей системе каждого робота словаря команд.

С точки зрения практического применения на БПЛА наиболее эффективным является вариант с использованием радиосигнала. Его основным преимуществами являются:

1) качество связи практически не зависит от погодных условий и состояния окружающей среды;
2) возможность осуществления обмена с устройствами в любом положении относительно источника сигнала – отсутствуют "мертвые зоны", связанные с полным перекрытием или отражением сигнала.

В качестве недостатков можно отметить, что данный тип связи использует сложнофокусируемые сигналы, что может создать сложность при организации обмена и увеличить энергопотребление отдельного устройства.

В связи с необходимостью построения масштабируемой сети, объединяющей большое количество узлов (mesh-топология), зачастую используется протокол ZigBee.

ZigBee. Спецификация ZigBee ориентирована на приложения, требующие гарантированной безопасной передачи данных при относительно небольших скоростях и возможности длительной работы сетевых устройств от автономных источников питания (батарей). Модуль ZigBee изображен на рисунке 1.3.



Рис. 1.3. Модуль ZigBee

Основная особенность технологии ZigBee заключается в том, что она при малом энергопотреблении поддерживает не только простые топологии сети ("точка-точка", "дерево" и "звезда"), но и самоорганизующуюся и самовосстанавливающуюся ячеистую (mesh) топологию с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений (рис. 1.4). Кроме того, спецификация ZigBee содержит возможность выбора алгоритма маршрутизации, в зависимости от требований приложения и состояния сети, механизм стандартизации приложений – профили приложений, библиотека стандартных кластеров, конечные точки, привязки, гибкий механизм

безопасности, а также обеспечивает простоту развертывания, обслуживания и модернизации.

Цель ZigBee – это создание недорогой, самоорганизующейся сети с ячеистой топологией предназначенной для решения широкого круга задач. Сеть может использоваться в промышленном контроле, встроенных датчиках, сборе медицинских данных, оповещении о вторжении или задымлении, строительной и домашней автоматизации и т. д. Созданная в итоге сеть потребляет очень мало энергии – индивидуальные устройства согласно данным сертификации ZigBee позволяют энергобатареям работать два года.

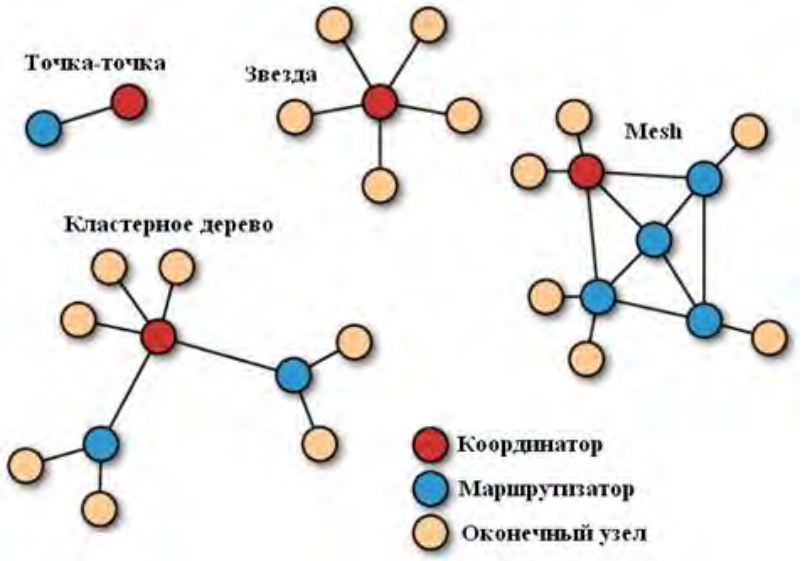


Рис. 1.4. Топологии на базе ZigBee

Ключевые достоинства ZigBee:

- Способность к самоорганизации и самовосстановлению;
- Ячеистая (mesh-) топология;
- Защищенность;
- Высокая помехоустойчивость;
- Низкое энергопотребление;

– Отсутствие необходимости получения частотного разрешения.

Типовые области приложения:

- Домашние развлечения и контроль – рациональное освещение, продвинутый температурный контроль, охрана и безопасность, фильмы и музыка.
- Домашнее оповещение – датчики воды и энергии, мониторинг энергии, датчики задымления и пожара, рациональные датчики доступа и переговоров.
- Мобильные службы – мобильные оплата, мониторинг и контроль, охрана и контроль доступа, охрана здоровья и телепомощь.
- Коммерческое строительство – мониторинг энергии, HVAC, света, контроль доступа.
- Промышленное оборудование – контроль процессов, промышленных устройств, управление энергией и имуществом.

Существуют три различных типа устройств ZigBee.

1. Координатор ZigBee (ZC) – наиболее ответственное устройство, формирует пути древа сети и может связываться с другими сетями. В каждой сети есть один координатор ZigBee. Он и запускает сеть от начала. Он хранит информацию о сети, выступает как доверенный центр и хранит ключи безопасности.
2. Маршрутизатор ZigBee (ZR) – Маршрутизатор может выступать в качестве промежуточного маршрутизатора, передавая данные с других устройств. Он также может запускать функцию приложения.
3. Конечное устройство ZigBee (ZED) – его функциональная нагруженность позволяет ему обмениваться информацией с материнским узлом (или координатором, или с маршрутизатором), он не может передавать данные с других устройств. Такое отношение позволяет узлу львиную часть времени пребывать в спящем состоянии, что позволяет экономить энергоресурс батарей. ZED требует минимальное количество памяти, и поэтому может быть дешевле в производстве, чем ZR или ZC [23].

1.5. Примеры воздушных роботов на основе роевого интеллекта

Примеры из животного мира используются не только на стадии разработки алгоритмов роевого интеллекта, но, зачастую, и при проектировании членов роя.

Немецкая компания Festo разработала робота-стрекозу под названием BionicOpter (рис. 1.5). Длина экземпляра 48 см, размах крыльев – 70 см, вес 175 г. Он имеет 4 крыла, перемещающихся независимо друг от друга, тем самым обеспечивая роботу очень высокую маневренность. Робот может висеть в воздухе и летать боком. Сейчас разрабатывается система управления роем таких роботов. Раннее компания выпустила робота-птицу под названием SmartBird, перемещающегося аналогично соколу (рис. 1.6).



Рис. 1.5. Робот-стрекоза

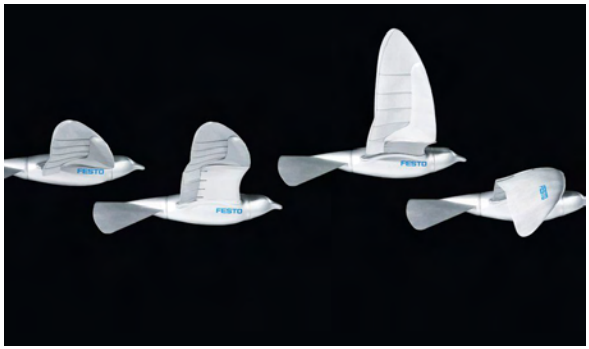


Рис. 1.6. Робот-птица

В связи со складывающейся экологической обстановкой на планете, под угрозу поставлено существование медоносных пчел. В связи с этим, команда ученых из Гарвардского и Северо-восточного университетов США занимается созданием малогабаритных роботов-пчел RoboBee (рис. 1.7, 1.8), которые смогли бы выполнять функции обычных пчел по опылению растений. Данные роботы должны будут действовать согласно правилам, которым следуют биологические пчелы, т.е. управляться роевым интеллектом [25].

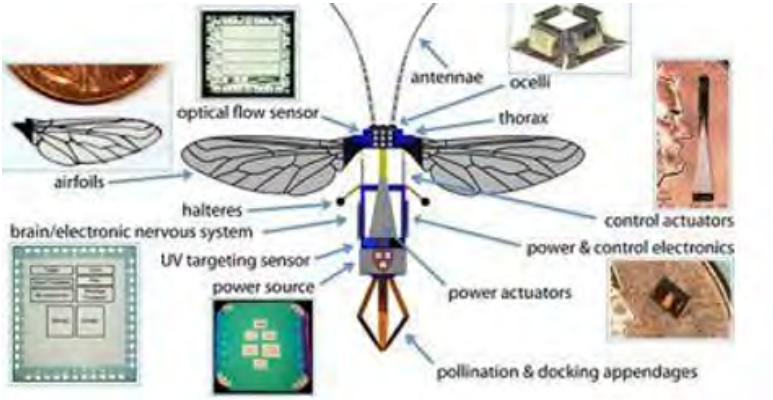


Рис. 1.7. Робот-пчела Гарвардского университета (США)

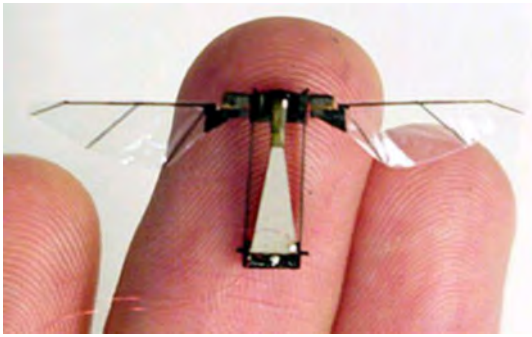


Рис. 1.8. Робот-пчела

1.6. Заключение

Групповая робототехника является одной из ключевых областей развития робототехнических систем. Это связано с тем, что для широкого класса практических задач применение группы относительно простых роботов является гораздо более эффективным по сравнению с использованием одного крупного многоцелевого устройства. Современное развитие вычислительной техники и систем связи открывает широкие возможности для построения таких систем.

Рассмотрение различных архитектурных и аппаратных реализаций групп БПЛА показало, что наиболее прогрессивным и эффективным является реализация коллективного поведения роботов по принципу роя, когда каждый из них взаимодействует только с соседними особями, обмениваясь собранной информацией об окружающей среде и своем состоянии. Подобная группа компенсирует слабость собственных устройств детектирования и связи через объединение в коллектив.

Для организации гибкой устойчивой связи в подобной распределенной масштабируемой системе могут применяться специализированные протоколы обмена верхнего уровня, примером которых служит ZigBee. Он позволяет реализовывать различные сетевые топологии, в том числе ячеистую (mesh) и допускает динамическое изменение количества и состояния узлов, имеет низкое энергопотребление и специализирован для подобных задач.

Глава 2
ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППАМИ ТРАНСПОРТНЫХ НАЗЕМНЫХ И ЛЕТАТЕЛЬНЫХ РОБОТОВ

2.1. Групповое взаимодействие роботов

Проблема группового взаимодействия является очень важной в современной робототехнике. Большой интерес для рассмотрения она представляет в такой перспективной области современной миниробототехники. Основные исследования в области управления группами роботов ведутся во многих индустриально развитых странах мира, прежде всего в интересах обороны. Наиболее интенсивный характер этих работ применительно к направлению военной робототехники наблюдается в США. Анализ результатов исследований показывает, что в настоящее время практически нет какого-либо общего подхода к проблеме группового управления роботами. Каждая исследовательская группа пытается разработать свой способ решения стоящей перед ней частной задачи, который, как правило, не может быть применен при решении других задач подобного типа. Таким образом, актуальной становится проблема разработки методов и алгоритмов распределенного (децентрализованного) управления коллективным взаимодействием роботов при их групповом применении в условиях заранее неизвестных динамически изменяющихся ситуаций. Решение данной проблемы позволит, во-первых, значительно расширить области применения роботов, во-вторых, вплотную приблизиться к решению проблемы массового применения минироботов в составе больших групп, насчитывающих тысячи и десятки тысяч минироботов.

Первые научные исследования в области применения групп роботов, взаимодействующих между собой для достижения цели, проводились в 80-х годах XX века, решался ряд узкоспециализированных задач. Первые попытки систематизации исследо-

ваний в области коллективного управления роботами при их групповом взаимодействии и построения теоретической и методологической базы для их дальнейшего развития совершены в начале 2000-х годов. Эволюция систем группового управления идет в направлении увеличения децентрализации с сохранением за центром только обеспечения общесистемных не поддающихся декомпозиции функций групп. Современная тенденция к минитюаризации робототехники делает более перспективным их групповое применение для решения практических задач [28].

Задачи группового управления

Для достижения конкретной цели, стоящей перед группой роботов, в случае детерминированной среды каждый робот может выполнять заранее определенную последовательность действий [29]. В случае же недетерминированной динамической среды, эта последовательность должна быть найдена системой управления группой роботов в процессе достижения цели. Причем действия роботов группы, очевидно, должны быть определенным образом скоординированы, согласованы. Таким образом, возникает задача управления группой роботов. Эта задача заключается либо в реализации системой управления роботами заранее найденной последовательности действий всех роботов группы, либо в отыскании такой последовательности и ее реализации в процессе достижения поставленной цели. Задачу управления группой роботов, действия которых направлены на достижение общей групповой цели, будем называть задачей группового управления. Суть задачи группового управления заключается в отыскании и реализации таких действий каждого отдельного робота группы, которые приводили бы к оптимальному, с точки зрения некоторого группового критерия, достижению общей групповой цели.

Подходы для решения задач

Среди известных подходов к решению задачи группового управления роботами можно выделить два диаметрально противоположных подхода. В первом случае эта задача решается одним, сосредоточенным (центральным) устройством управления.

Во втором случае решение осуществляется некоторым, распределенным по роботам группы устройством управления. В дальнейшем первый подход называется централизованным групповым управлением, а второй подход – децентрализованным групповым управлением [35].

2.1.1. Виды централизованного управления

Централизованное управление роботами может быть двух видов: единоначальное и иерархическое [37].

Единоначальное управление (наличие в группе командира или центрального устройства управления роботов (ЦУУ), на которые возлагаются задачи планирования и управления группой). Преимуществом единоначального управления является простота ее организации и алгоритмизации. К недостаткам следует отнести длительное время принятия решения из-за выполнения задачи оптимизации всех членов группы роботов для достижения групповой цели, а также низкую живучесть.

Иерархическое управление (так же наличие ЦУУ или командира, которые управляют небольшим количеством роботов, в подчинении каждого из них состоит своя группа объектов). По сравнению с единоначальным управлением, существенно снижается сложность задачи, решаемой отдельным командиром или ЦУУ, однако усложнение структуры управления может приводить к сильным задержкам или сбоям в передаче команд от верхнего к нижнему уровню.

2.1.2. Виды децентрализованного управления

Децентрализированное управление роботами может быть двух видов: коллективное или стайное [38].

Коллективное управление (в системе нет командира или ЦУУ, все единицы равноценны и каждый член группы самостоятельно принимает решение, пытаясь внести максимально возможный вклад в достижение групповой цели, при это члены группы обмениваются информацией о выбранных действиях друг с другом). За счет того, что каждый элемент группы решает задачу оптимизации только для себя, а не пытается оптимизировать действия всей группы; задача существенно упрощается,

поэтому ее решение может осуществляться быстро, в реальном времени. Но это сильно усложняет алгоритмизацию и предъявляет к элементам большой группы "интеллектуальный уровень", т.к. от них требуется четко понимать групповую задачу и уметь выбирать такие действия, которые приводят к наилучшему ее решению с точки зрения всей группы роботов.

Стайное (роевое) управление (в системе нет командира или ЦУУ, все единицы равноценны и каждый член группы роботов самостоятельно принимает решение, пытаясь внести максимально возможный вклад в достижение групповой цели, при этом обмена информации между членами группы нет, и каждый объект "подстраивает" свои действия на основании косвенной информации).

2.2. Проблемы группового управления

Проблемы группового управления роботами, требующие решения задач децентрализации системы управления, кластеризации совокупности роботов и распределения целей, являются предметом повышенного интереса зарубежных и отечественных ученых, результаты исследований которых нашли отражение в большом количестве публикаций. Этот интерес вызван перспективностью применения групп роботов в различных областях человеческой деятельности и одновременно сложностью решаемых задач [39]:

1) Необходимо решить задачу распределения целей и заданий между роботами, с учетом характера целей, функциональных возможностей каждого робота и среды их функционирования.
2) Требуется решить задачу распределения целей и заданий между роботами, с учетом характера целей, функциональных возможностей каждого робота и среды их функционирования.
3) Необходимо организовать взаимодействие роботов на коммуникационном уровне и согласовать их вне- и внутригрупповое поведение при достижении целей.

4) Для обеспечения высокой надежности группы, требуется реализовывать децентрализованное управление, что приводит к распределенной структуре робототехнической системы.

2.2.1. Критерий эффективности

Групповое применение роботов как было уже сказано выше, не является тривиальной задачей и не существует ее какого – либо единого решения. При разработке оптимального метода группового управления роботами необходимо руководствоваться критерием эффективности. Существует два вида критерия эффективности:

- критерий эффективности первого рода – степень достижения цели системы.
- критерий эффективности второго рода – оценка эффективности в некотором заданном пути достижения цели [40].

2.3. Управление группами роботов в стационарных и сложных нестационарных средах

2.3.1. Управление группами роботов в стационарных условиях

Примером исследований в области группового управления роботами может служить проект "MARTHA", который выполнялся в лаборатории Анализа системных архитектур Франции. Целью данного проекта являлась разработка методов организации группового взаимодействия роботов (от 10 до 100 шт.), предназначенных для транспортировки грузов в складских терминалах. В проекте "MARTHA" используется централизованное управление группой роботов [41].

Целью проекта "AMADEUS", предложенного японскими разработчиками, является создание группы роботов, обеспечивающих подвоз и вывоз изделий для конвейерных линий. Используются два типа роботов: транспортный робот (ТР), выполняющий непосредственную перевозку изделий, и стационарный погрузочный робот (СПР), расположенный в непосредственной близости от конвейерной линии и выполняющий разгрузочно-погрузочные работы с ТР на конвейер и наоборот.

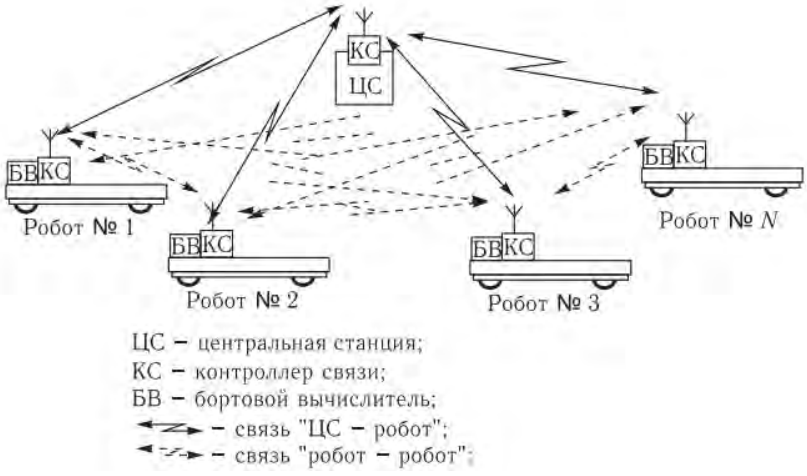


Рис. 2.1. Структура системы управления проекта "MARTHA"

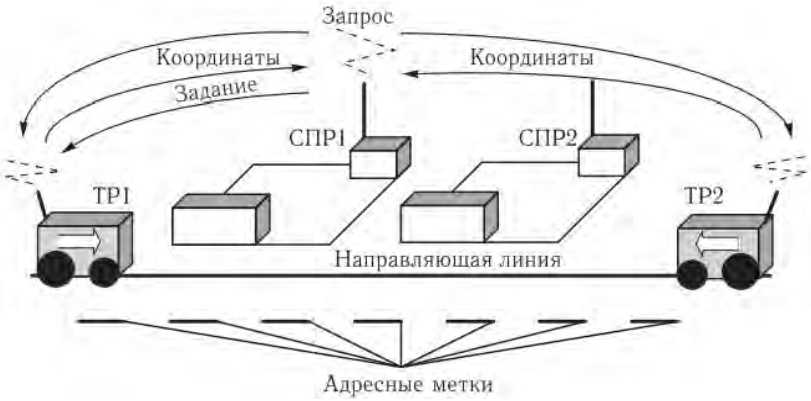


Рис. 2.2. Архитектура проекта "AMADEUS"

2.3.2. Управление группами роботов в сложных нестационарных средах

В Японии работы в области систем группового взаимодействия роботов активно ведутся в университете г. Нагоя. Здесь раз-

работана система DARS (Distributed Autonomous Robotic System), с помощью которой отрабатываются алгоритмы и методы планирования и управления скоординированными действиями группы роботов, функционирующих в естественной неорганизованной среде, из единого мобильного командного центра [41].

Управлением DARPA Министерства обороны США также финансировалась разработка тактических мобильных минироботов для группового применения в городских условиях, выполнявшаяся в рамках программы "Тактические мобильные робототехнические системы". Исследования были направлены на отработку командного взаимодействия группы, состоящей из людей и роботов. Система управления позволяет оператору управлять несколькими роботами из единого командного центра (переносного). Оператор задает цель для каждого робота, а роботы перемещаются к целям автономно [42].



Рис. 2.3. Группа тактических мобильных роботов

2.4. Управление группами роботов в условиях противодействия

Хорошей моделью для отработки методов и алгоритмов группового управления роботами в условиях противодействия

может служить игра двух команд роботов в футбол, которая в первоначальном виде предназначалась для чисто исследовательских целей. Однако данное направление получило такую широкую популярность среди ее разработчиков, что в конечном итоге переросло в новый вид интеллектуального спорта, именуемый как "игра роботов в футбол".

В категории "программные модели" игра проходит на программном уровне, на базе сервера. Сервер формирует виртуальное поле, арбитра, моделирует перемещение игроков и мяча по полю, обеспечивает связь между игроками одной команды и выводит изображение на экран монитора. Роботы-игроки представляют собой клиентские программы, которые могут планировать действие как одного, так и нескольких игроков одной команды на отдельном компьютере, подключаемом к серверу через сетевой IP протокол.

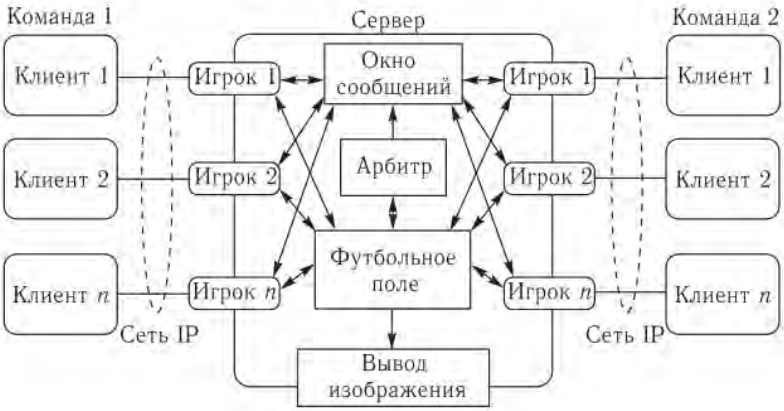


Рис. 2.4. Структура организации игры роботов в футбол в категории "программные модели", проводимой федерацией "RoboCup"

При проведении соревнований в лиге аппаратных моделей малых роботов для управления ими применяется система, структура которой показана на рисунке 2.5. Структура состоит из глобальной видеокамеры (ГВК), расположенной над полем, контроллера связи и предварительной обработки данных (КСиПОД) и нескольких модулей планирования действий (МПД), каждый из которых соответствует одному из игроков команды.

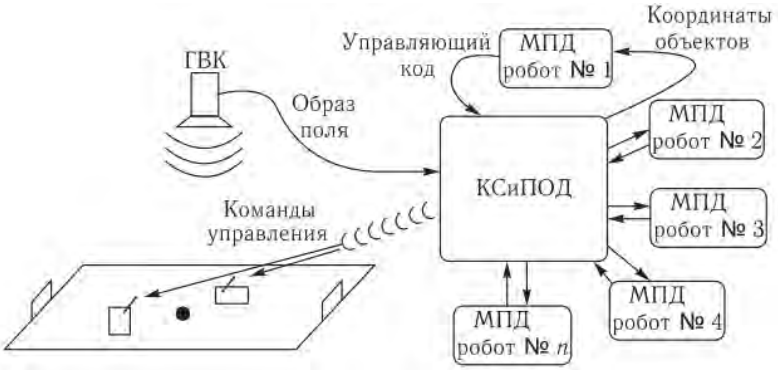


Рис. 2.5. Структура организации игры роботов в футбол



Рис. 2.6. Внешний вид игрового поля и роботов-футболистов в лиге малых роботов

2.4.1. Управление большими группами роботов

Большая группа простых сенсорных роботов разбивается на несколько подгрупп, каждая из которых закрепляется за роботом-лидером, управляемым из командного центра в супервизорном режиме. Роботы-лидеры, в свою очередь, формируют целевые задачи для простых сенсорных роботов и взаимодействуют с роботами-картографами. Простые сенсорные роботы взаимо-

действуют друг с другом для поддержания заданного расстояния при движении к цели и передают собранную информацию об окружающей среде своему роботу-лидеру. Таким образом, образуется некоторая иерархическая структура.

2.5. Борьба "стаи" и "роя" транспортных летательных роботов с беспилотными летательными аппаратами

Преимущества использования БПЛА [16]:

- низкая стоимость использования по сравнению с использованием пилотируемой авиации (20–40 тыс. рублей / летный час) или спутников. Важно отметить, что наибольшей экономии можно добиться при использовании малых БПЛА в течение короткого времени, поскольку при использовании больших БПЛА, с большим потреблением топлива и высокой стоимости, зарплата пилота перестает быть основным фактором, определяющим различия в размере расходов;
- высокая мобильность, не требуются площадки для взлета;
- низкие издержки на содержание штата;
- возможность решения широкого спектра задач;
- возможность применения в сложных погодных условиях и в условиях риска аварии для аппарата;
- не требуется высококвалифицированный персонал.

2.5.1. Примеры БПЛА

Беспилотный аппарат Zephyr. Британский БПЛА Zephyr (Зефир) используя только энергию солнца, днем заряжая батареи, а ночью расходуя накопленную энергию способен продержаться в небе 54 часа [17].

Длительность полета британского БПЛА Zephyr превзошел самолет американских военных – Global Hawk, его рекорд – 31 час 30 минут.



Рис. 2.7. Беспилотный аппарат Zephyr

Планы разработчиков БПЛА Zephyr впечатляют. Компания QinetiQ собирается выпустить беспилотные летательные аппараты, достигающие высот стратосферы – 30 километров. Также, разработчики планируют увеличить длительность нахождения аппаратов в воздухе до трех месяцев.

Высота полета беспилотника Zephyr составляет 18 тысяч метров, при размахе крыльев 18 метров и весом всего 32 килограмм. Можно сделать вывод, что разработчикам удалось снизить вес до допустимых возможностей.

Управление аппаратом Zephyr происходит при помощи оператора на начальном этапе подъема, а в дальнейшем, при наборе высоты, включается автопилот.

Взлетный вес, кг: 32.00
Дальность, км: 10 000.00
Скорость, км/ч: 90.00
Практический потолок, м: 21 000.00
Размах крыльев, м: 18
Продолжительность полета, ч: 336
Производитель: QinetiQ

2.5.2. Этапы борьбы с БПЛА

1. Обнаружение (радиолокация, оптическое обнаружение).

Компания IAI ELTA Systems доработала свои 3-D радары с целью обнаружения малозаметных, низколетящих, низкоскоростных воздушных целей.



Рис. 2.8. 3-D радар IAI ELTA Systems

В мае 2015 года компания CACI International получила контракт в рамках программы Pathfinder управления FAA на разработку и демонстрацию системы SKYTRACKER автоматического обнаружения, идентификации и слежения.

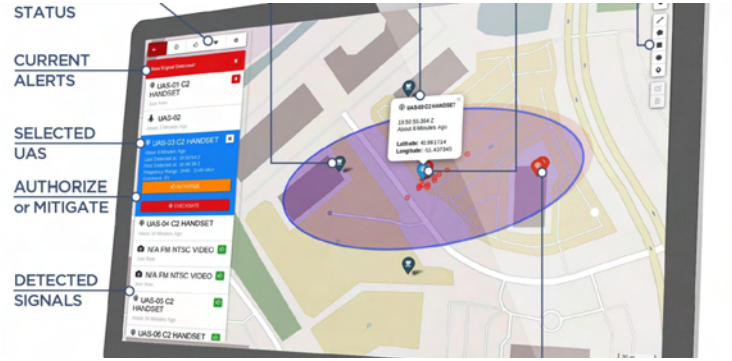


Рис. 2.9. Демонстрацию системы SKYTRACKER

2. Распознавание (программные алгоритмы).

3. Ликвидация (использование средств ПВО, малогабаритных летательных аппаратов, беспилотников).

Ниже представлены методы и способы нейтрализации беспилотников:

- Акустические;
- Лазерные;
- Микроволновые;
- Противодроны;
- Системы перехвата управления беспилотных летательных аппаратов.

У дронов выявили общую для многих из них уязвимость, связанную с конструкцией гироскопа. Это устройство есть практически в каждом дроне, поскольку оно необходимо для того, чтобы девайс ощущал изменения в наклоне, ориентации и т.п. изменения. У гироскопа, как практически у любой механической системы, есть резонансная частота. Стоит ее подобрать, гироскоп войдет в резонанс и начнет выдавать показания, которые, как показали эксперименты, приводят к аварии дрона. Это установил исследователь Yongdae Kim из южнокорейского института KAIST (Korea Advanced Institute of Science and Technology) [43].

Для различных конструкций гироскопов резонансные частоты отличаются, некоторые из них находятся в слышимом диапазоне, другие – в диапазоне ультразвуковых волн. Исследователи проверили 15 типов гироскопов, используемых в популярных хобби-дронах. Обычно это продукты STMicroelectronics и InvenSense. Семь из них были подвержены уязвимости к акустической атаке [44].

В эксперименте ученые исследовали воздействие звука на дроны в тестовой камере. Атаки в течение 10 секунд во всех случаях хватало, чтобы сбить дрон. По их расчетам, атака мощностью 140 дБ, что чуть громче, чем звуковой сигнал автомобиля, но тише, чем самолет на взлете, достаточна чтобы сбивать дрон на расстояниях до 40 метров.

Гироскопы отличаются по конструкции, в некоторых из них резонанс "забивает" только канал ориентации по горизонталь-

ной оси, этого может быть недостаточно для аварии дрона, поскольку обычно на нем есть еще и магнитометр, также обеспечивающий возможность ориентации по горизонтали.

Неизвестно, найдет ли "акустическая атака" практические применение в борьбе с дронами. Можно, наверное, вообразить себе систему акустического удара, которой будут оснащаться полицейские дроны. Такие дроны смогут автоматически наводиться на цель, например, по звуку ее двигателей, догонять "нарушителя" за счет более мощных двигателей, а затем пускать в ход встроенные динамики для вывода гироскопа из строя. Понятно, что на полицейском дроне встроенные гироскопы не должны резонировать с излучаемым сигналом. Этого можно добиться различными способами, например, изолировать их акустической защитой типа вспененных материалов.

2.6. Заключение

Таким образом, проблема коллективного (децентрализованного) управления сложными распределенными системами – фундаментальная межотраслевая научная проблема, имеющая важное практическое значение в различных сферах деятельности. Широкое внедрение подобных систем требует соответствующего научного подхода, выявления общих закономерностей их функционирования, разработки теории и методов их синтеза.

Глава 3
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОЛЕТА БПЛА

3.1. Введение

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) являются достаточно сложными объектами управления, которые выполняют поставленные задачи в трехмерном пространстве с постоянно действующими силами гравитации и внешними возмущениями. Разработка полностью автономных БПЛА, решающих конкретные прикладные задачи, предполагает проведение длительных циклических исследовательских и инженерных работ.

Постоянное проведение натурных экспериментов при разработке БПЛА ведет за собой огромные временные затраты, а также представляет собой экономически не выгодный подход для разработчиков. Как и во многих других областях науки и техники необходимо внедрение в процесс разработки этапа математического и имитационного моделирования.

В области создания БПЛА в первую очередь целесообразно разработать математическую модель динамики движения БПЛА в виртуальном 3D пространстве.

3.2. Формальное описание динамики движения

Для формального описания динамики движения твердого объекта в трехмерном пространстве необходимо ввести в рассмотрение как минимум две системы координат [40], а именно:

1) неподвижную систему координат, нормальную земную систему координат (ЗСК);
2) подвижную (нормальную) систему координат (НСК), связанную с центром масс объекта управления.

ЗСК характеризуется расположением начала координат $O_З$ на поверхности земли, в точке старта БПЛА. Изначально фронтальная сторона БПЛА, совпадает с направлением оси абсцисс

O_3X_3. Вторая ось O_3Y_3, расположена в одной горизонтальной плоскости с осью O_3X_3, к тому же они взаимно перпендикулярны. Третья ось O_3Z_3 в ЗСК, представленная на рисунке 3.1, имеет вертикальное направление, которое противоположно земному притяжению $g = 9{,}81$ м/с^2.

Для определения координат расположения БПЛА в пространстве относительно начальной точки необходимо ввести в рассмотрение НСК. Оси НСК принимаются как параллельные осям ЗСК, при этом для определения высоты полета необходимо провести радиус-вектор r между их началами и построить проекцию на ось O_3Z_3 ЗСК.

Связанная система координат (ССК) используется для определения угловой ориентации БПЛА, которую можно увидеть на рисунке 3.2 [40], а ее положение относительно НСК определяется углами Эйлера: θ – угол тангажа, который определяет угловое смещение между осью OX и горизонтальной плоскостью; ψ – угол рыскания, который определяет угловое смещение между осью $OX_З$ НСК и проекцией оси OX на горизонтальную плоскость; φ – угол крена, который определяет поворот объекта вокруг продольной оси OX [41].

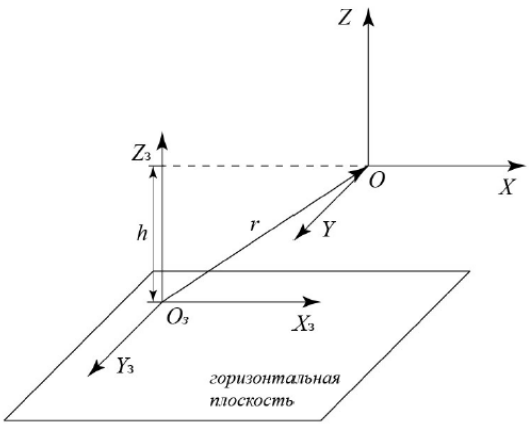


Рис. 3.1. Графическая модель взаимосвязи земной и нормальной систем отсчета БПЛА

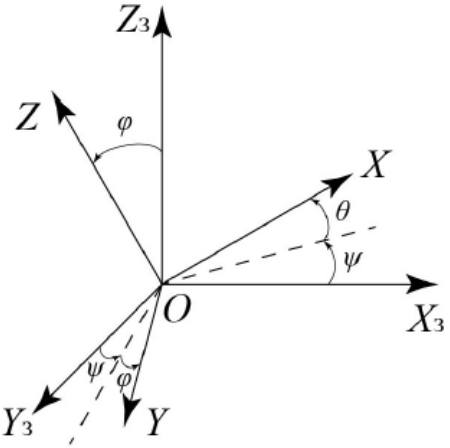


Рис. 3.2. Углы Эйлера между НСК и ССК БПЛА

После того как определены основные системы координат можно перейти к рассмотрению уравнений движения БПЛА [7].

Чтобы сформировать динамическую модель БПЛА необходимо определить конструктивные особенности рассматриваемого объекта. Для этого возьмем математическое описание поведения летательного аппарата с вертикальным вектором тяги [41].

Для того чтобы определить физику полета БПЛА с вертикальным вектором тяги необходимо построить его математическую модель движения. Запишем выражение вектора скорости и ускорения платформы в матричном виде:

$$\xi = J_{\Theta} v,$$

$$M\acute{v} + |C(v)v = \Lambda,$$

где ξ – положение, в котором находится БПЛА, состоящее из линейного Γ и углового Θ компонента:

$$\xi = [\Gamma\ \Theta]^T = [x\ y\ z\ \varphi\ \psi\ \theta]^T,$$

где v – вектор угловых и линейных скоростей:

$$v = [V\ \omega]^T = [V_x\ V_y\ V_z\ \omega_\varphi\ \omega_\psi\ \omega_\theta]^T,$$

где J_Θ – матрица связи ЗСК с ССК летательного аппарата; M – матрица инерциальной составляющей динамической модели

воздушно мобильного робота; C(v) – матрица, отвечающая за учет центробежных сил; Λ – вектор силомоментных взаимодействий, определяющих движение в трехмерном пространстве:

$$\Lambda=[F\ \tau]^T=[F_x\ F_y\ F_z\ \tau_\varphi\ \tau_\psi\ \tau_\theta]^T.$$

В связи с тем, что за объект рассмотрения взят БПЛА небольших размеров, вектор силомоментных взаимодействий Λ делится на три составляющие:

$$\Lambda=G+O(v)\Omega+E(\xi)U(\Omega),$$

где G – матрица влияния гравитации Земли на объект управления; O(v) – матрица, введенная для учета гироскопического эффекта, который появляется за счет вращения роторов БПЛА; Ω – вектор угловых скоростей вращения системы несущих винтов; U(Ω) – управляющее воздействие для платформы БПЛА; E(ξ) – матрица, преобразующая направления сил и моментов, возникающих в результате воздействий U(Ω).

Для получения наивысшей эффективности управления, учитывается динамика исполнительных приводов, для этого полученную динамическую модель дополним динамикой вращения приводов, к которым подключена система несущих винтов. Возможность контроля качества управления, безусловно, является важным свойством, при учете динамики приводов в управлении многомерной нелинейной системе, и повышает общую эффективность.

Электроприводы переменного тока являются простыми, надежными и экономичными по сравнению с двигателями постоянного тока. Именно поэтому зачастую в современных БПЛА используют электроприводы переменного тока [42]. Единственным недостатком в сравнении с аналогичными по мощности приводами, является сложное управление, заключающееся в существенной нелинейности и высокой разности дифференциальных уравнений, которые в свою очередь описывают динамику их поведения в различных режимах функционирования.

Для того чтобы учесть электрические приводы в системе управления БПЛА, дадим формальное описание их поведения.

Общая математическая модель приводов выглядит следующим образом:

$$\dot{x}^j = R^j\left(x^j\right)x^j + P^j\left(x^j\right)u^j + S^j M_l^j,$$
$$Y^j = d^j\left(x^j\right)x^j,\ j=\overline{1,N},$$

где x^j – вектор пространства состояний j-го привода размерности n^j; Y^j – вектор выхода j-го привода; u^j – вектор управляющих воздействий j-ого привода размерности μ^j; $R^j\left(x^j\right)$, $P^j\left(x^j\right)$ и S^j – функциональные матрицы размерности $n_j \times n_j$, $n_j \times \mu^j$ и $1 \times n_j$; $d^j\left(x^j\right)$ – функциональная матрица-строка выхода; M_l^j – внешнее возмущение, влияющее на j-й привод.

От формального описания процессов, которые возникают в процессе движения БПЛА в пространстве, напрямую зависит эффективность нелинейных систем управления, поэтому рассмотрим модель поведения шестироторного БПЛА с вертикальным вектором тяги [47].

3.3. Описание объекта регулирования

Модель проектируемого БПЛА рассмотрим на рисунке 3.3.

Основная идея рассматриваемого БПЛА состоит в том, чтобы использовать шесть электроприводов, таким образом, чтобы контролировать шесть степеней свободы.



Рис. 3.3. Модель БПЛА

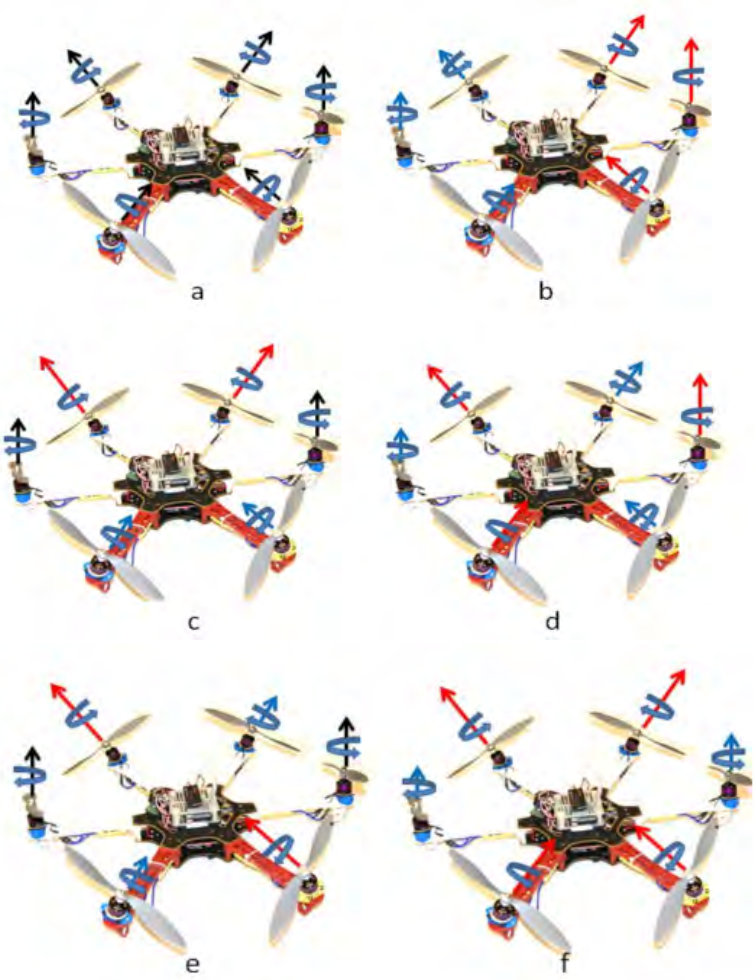


Рис. 3.4. Схема режимов движения, рассматриваемого БПЛА

В настоящее время существуют разнообразные модели подобных БПЛА, но все они имеют шесть параллельных винта, равномерно распределенных по окружности. Все двигатели расположены вертикально, поэтому у параллельных направлений

нет компонентов, которые действуют в плоскости перпендикулярной оси ротора.

Поскольку все двигатели являются параллельными и вертикальными, они могут обеспечить линейную силу по оси Z, и моменты вокруг осей X и Y. Крутящий момент вокруг оси Z достигается косвенно, через силы Кориолиса, возникающие за счет дифференциальных угловых скоростей в противоположном винте. Если вращать все роторы с определенной скоростью, то БПЛА будет парить, как только мы начнем изменять скорость роторов, БПЛА может наклоняться в зависимости от значений углов тангажа, рыскания и крена. На рисунке 3.4 приведены схемы режимов движения, рассматриваемого БПЛА [43].

Существуют две основные конфигурации расположения винтов БПЛА относительно ССК: +-конфигурация (плюс-конфигурация) и X-конфигурация (икс-конфигурация), указанные на рисунке 3.5 [42].

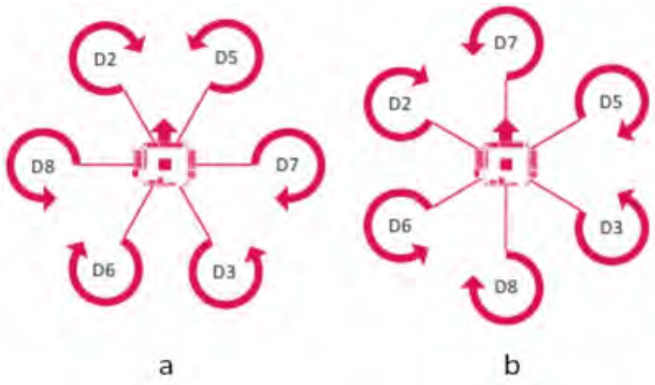


Рис. 3.5. Конфигурация расположения винтов БПЛА

3.4. Математическая модель платформы

Модель поведения БПЛА с вертикальным вектором тяги в матричном виде выглядит следующим образом:

$$\xi = J_{\Theta} v,$$

где ξ – положение в котором находится БПЛА, состоящее из линейного Г и углового Θ компонента:

$$\xi = [\Gamma\ \Theta]^T=[x\ y\ z\ \varphi\ \psi\ \theta]^T,$$

v – вектор угловых и линейных скоростей:

$$v = [V\ \omega]^T=[V_x\ V_y\ V_z\ \omega_\varphi\ \omega_\psi\ \omega_\theta]^T,$$

J_Θ – матрица связи ЗСК с ССК летательного аппарата, состоящая из 4-х подматриц и имеющая следующий вид:

$$J_\Theta=\begin{bmatrix} R_\Theta & 0_{3\times3} \\ 0_{3\times3} & T_\Theta \end{bmatrix},$$

где $0_{3\times3}$ нулевая матрица вида:

$$0_{3\times3}=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

R_Θ матрицу поворота, определяющую переход от ССК к нормальной можно получить следующим образом [43]:

$$R_\Theta(\psi)=\begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$R_\Theta(\theta)=\begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix},$$

$$R_\Theta(\varphi)=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & \sin\varphi \\ 0 & -\sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix}.$$

Переход в инерциальную систему отсчета, осуществляется с помощью матрицы поворота R_Θ:

$$R_\Theta=R_\Theta(\psi)\cdot R_\Theta(\theta)\cdot R_\Theta(\varphi),$$

$$R_\Theta = \begin{bmatrix} \cos\theta\cos\psi & \cos\psi\sin\theta\sin\varphi-\cos\varphi\sin\psi & \cos\varphi\cos\psi\sin\theta+\sin\varphi\sin\psi \\ \cos\theta\sin\psi & \cos\varphi\cos\psi+\sin\theta\sin\varphi\sin\psi & \cos\varphi\sin\theta\sin\psi-\cos\psi\sin\varphi \\ -\sin\theta & \cos\theta\sin\varphi & \cos\theta\cos\varphi \end{bmatrix}.$$

R_Θ матрица поворота, определяющая переход от ССК к нормальной является ортогональной, в результате преобразования $R^{-1}= R^T$. Передаточная матрица выглядит следующим образом:

$$T_\Theta=\begin{bmatrix} 1 & \sin\psi\tan\theta & \cos\varphi\tan\theta \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi \\ 0 & \sec\theta\sin\varphi & \cos\varphi\sec\theta \end{bmatrix}.$$

Кинематическая модель движения летательного аппарата в трехмерном пространстве определяется с помощью передаточной матрицы T_Θ и положения ξ, в котором он находится. Однако для создания законов управления, адекватных рассматриваемому объекту, необходимо принять во внимание динамические составляющие БПЛА, поэтому мы построим динамическую модель поведения в трехмерном пространстве, основываясь на общей модели движения БПЛА [43].

$$M\acute{v}+|C(v)v = \Lambda,$$

где M – матрица инерциальной составляющей динамической модели БПЛА; C(v) – матрица, отвечающая за учет центробежных сил; Λ – вектор силомоментных взаимодействий, определяющих движение БПЛА в трехмерном пространстве.

Для учета массы и момента инерции определим матрицу M в следующем виде:

$$M = \begin{bmatrix} mI_{3\times3} & 0_{3\times3} \\ 0_{3\times3} & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V^B \\ \omega^B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega^B \cdot mV^B \\ \omega^B \cdot I\omega^B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F^B \\ \tau^B \end{bmatrix},$$

$$a \cdot b = \begin{bmatrix} 0 & -a_3 & a_2 \\ a_3 & 0 & -a_1 \\ -a_2 & a_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix},$$

где $I_{3\times3}$ – единичная матрица размером 3×3; m – масса БПЛА; I – матрица инерций БПЛА, имеющая вид:

$$I = \begin{bmatrix} I_{xx} & I_{xy} & I_{xz} \\ I_{yx} & I_{yy} & I_{yz} \\ I_{zx} & I_{zy} & I_{zz} \end{bmatrix},$$

в которой элемент I_{xx} описывает момент инерции вокруг оси OX, а I_{xy} описывает момент инерции вокруг оси OY, когда объект вращается вокруг оси OX и так далее. В нашем случаи оси ССК совпадают с расположением балок БПЛА, и появляется возможность упростить динамику процесса его передвижения путем замены матрицы инерций более простой диагональной матрицей:

$$I = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix}.$$

Колоссальное влияние на динамику полета БПЛА оказывают центробежные силы, возникающие при вращении его платформы. Именно поэтому, для учета центробежных сил, необходимо определить матрицу C(v):

$$C(v)=\begin{cases} mI_{3\times3}\dot{V}^{B}+\omega^{B}\cdot mV^{B}=\begin{bmatrix} m\dot{u} \\ m\dot{v} \\ m\dot{\omega} \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} 0 & -r & q \\ r & 0 & -p \\ -q & p & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} mu \\ mv \\ mw \end{bmatrix}=F^{B} \\ I\dot{\omega}^{B}+\omega^{B}\cdot I\omega^{B}=\begin{bmatrix} I_{xx}\dot{p} \\ I_{yy}\dot{q} \\ I_{zz}\dot{r} \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} 0 & -r & q \\ r & 0 & -p \\ -q & p & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_{xx}p \\ I_{yy}q \\ I_{zz}r \end{bmatrix}=\tau^{B} \end{cases},$$

где $V^{B}=[u\ v\ \omega]$ $^{м}/_{с}$ – линейная скорость БПЛА; $\omega^{B}=[p\ q\ r]$ $^{рад}/_{с}$ – угловая скорость [43]. А также:

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} rv-q\omega \\ p\omega-ru \\ qu-pv \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} \frac{1}{m}F_{x}^{B} \\ \frac{1}{m}F_{y}^{B} \\ \frac{1}{m}F_{z}^{B} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \frac{I_{yy}-I_{zz}}{I_{xx}}qr \\ \frac{I_{zz}-I_{xx}}{I_{yy}}pr \\ \frac{I_{xx}-I_{yy}}{I_{zz}}pq \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} \frac{1}{I_{xx}}\tau_{x}^{B} \\ \frac{1}{I_{yy}}\tau_{y}^{B} \\ \frac{1}{I_{zz}}\tau_{z}^{B} \end{bmatrix} \end{cases}.$$

3.5. Основные режимы движения БПЛА

Вектор Λ динамической модели БПЛА состоит из двух элементов, а именно из вектора сил F, определяющих линейное перемещение летательного аппарата и вектора моментов τ, определяющих угловое перемещение

$$\Lambda=[F\ \tau]^{T}=[F_{x}\ F_{y}\ F_{z}\ \tau_{\varphi}\ \tau_{\psi}\ \tau_{\theta}]^{T}.$$

Так как за объект рассмотрения взят шести роторный летательный аппарат, то вектор силомоментных взаимодействий Λ можно разделить на три части:

$$\Lambda=G+O(v)\Omega+E(\xi)\Omega^2.$$

Первая составляющая определяет влияние гравитации Земли на летательный аппарат, которое прямо пропорционально ускорению свободного падения g, умноженного на массу летательного аппарата:

$$G = R_\Theta \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} mg\sin\theta \\ -mg\cos\theta\sin\varphi \\ -mg\cos\theta\cos\varphi \end{bmatrix}.$$

В шести роторном летающем аппарате вертикальную тягу создает каждый ротор, который подключен к исполнительному приводу через систему редукторов. Исполнительные приводы, показанные на рисунке 3.6, обеспечивают вращение роторов в диагонально противоположных направлениях, при этом вектором угловых скоростей имеет вид:

$$\Omega =[\Omega_1\ \Omega_2\ \Omega_3\ \Omega_4\ \Omega_5\ \Omega_6]^T,$$

где $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \Omega_4, \Omega_5, \Omega_6$ – угловые скорости переднего правого, правого, заднего правого, заднего левого, левого и переднего левого винтов соответственного [43].

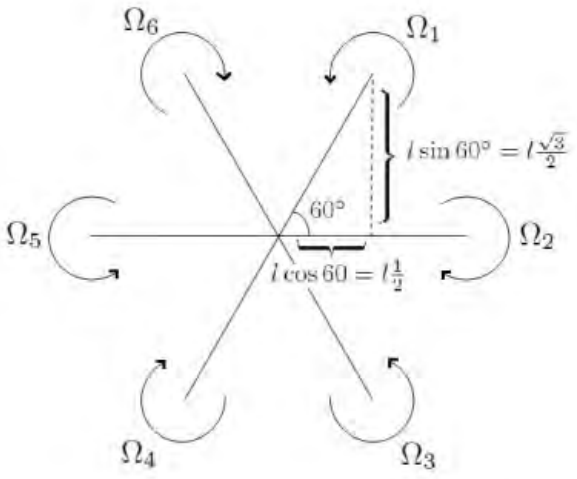


Рис. 3.6. Графическое изображение расстояния до центра тяжести БПЛА

В качестве первого режима летательного аппарата, указанного на рисунке 3.7, U_1 возьмем движение вдоль оси OZ, принадлежащей ССК. Такое движение обеспечивается одновременным увеличением скоростей винтов Ω на одинаковое значение угловой скорости Δa. Такое движение приводит к взлету или посадке БПЛА при нулевых значениях тангажа и крена:

$$U_1=b\left(\Omega_1^2+\Omega_2^2+\Omega_3^2+\Omega_4^2+\Omega_5^2+\Omega_6^2\right),$$

где b – аэродинамическая составляющая тяги винта.

В качестве второго режима U_2 , необходимо взять поворот вокруг оси OX, принадлежащий ССК. Данное движение достигается путем увеличения или уменьшения на величину Δa значения Ω_2 правого винта и уменьшением или увеличением на величину Δb значения Ω_5 левого винта. Полученное при этом выражение характеризуется изменением угла крена, который происходит в момент уменьшения $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3$ и повышения $\Omega_4, \Omega_5, \Omega_6$:

$$U_2=bl\left(-\Omega_2^2+\Omega_5^2+\frac{1}{2}(-\Omega_1^2-\Omega_3^2+\Omega_4^2+\Omega_6^2\right).$$

Аналогично режиму U_2, в качестве третьего режима движения U_3 необходимо взять поворот летающего аппарата вокруг оси OY, принадлежащей ССК. Данное движение будет достигаться путем уменьшения или увеличения на величину Δa значений Ω_1, Ω_6 и увеличения или уменьшения на величину Δb значений Ω_3, Ω_4. Полученное при этом выражение характеризуется изменением угла тангажа, который происходит в момент уменьшения Ω_1, Ω_6 и повышения Ω_3, Ω_4.

$$U_3=bl\frac{\sqrt{3}}{2}\left(-\Omega_1^2+\Omega_3^2+\Omega_4^2-\Omega_6^2\right).$$

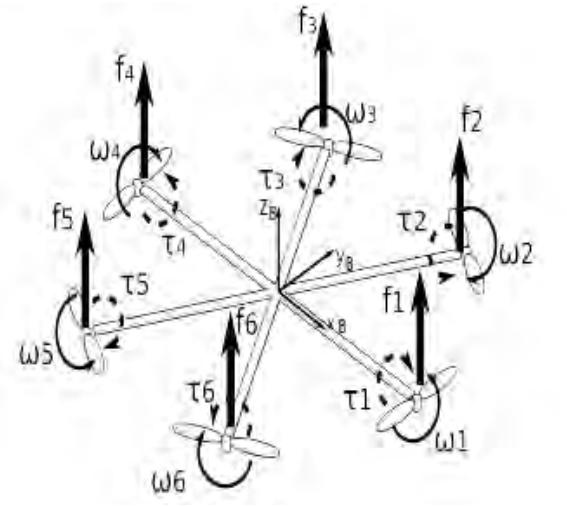


Рис. 3.7. Схема движения БПЛА

В качестве последнего, четвертого режима движения U_4 необходимо взять поворот летающего аппарата вокруг оси OZ, принадлежащей ССК. Данное движение достигается путем одновременного увеличения или уменьшения на величину Δa значений $\Omega_2, \Omega_4, \Omega_6$ винтов, а также одновременного уменьшения или увеличения на величину Δb значений $\Omega_1, \Omega_3, \Omega_5$. Благодаря вращению роторов в диагонально противоположных направлениях, полученное движение характеризуется изменением угла рыскания:

$$U_4=d\left(-\Omega_1^2+\Omega_2^2-\Omega_3^2+\Omega_4^2-\Omega_5^2+\Omega_6^2\right),$$

где d – аэродинамическая составляющая коэффициента сопротивления среды.

Множество U определяет связь между системой исполнительных приводов и платформой летающего аппарата, поэтому при рассмотрении математической модели динамики БПЛА, режимы движения использовались как задающие воздействия для платформы:

$$U=\begin{cases} U_1=b(\Omega_1^2+\Omega_2^2+\Omega_3^2+\Omega_4^2+\Omega_5^2+\Omega_6^2) \\ U_2=bl(-\Omega_2^2+\Omega_5^2+\frac{1}{2}(-\Omega_1^2-\Omega_3^2+\Omega_4^2+\Omega_6^2) \\ U_3=bl\frac{\sqrt{3}}{2}(-\Omega_1^2+\Omega_3^2+\Omega_4^2-\Omega_6^2) \\ U_4=d(-\Omega_1^2+\Omega_2^2-\Omega_3^2+\Omega_4^2-\Omega_5^2+\Omega_6^2) \end{cases}.$$

3.6. Принципы трехмерного твердотельного моделирования

Очевидно, что процесс создания БПЛА характеризуется большой трудоемкостью и наукоемкостью, который невозможен без широкого использования систем автоматизированного проектирования, основанных на применении компьютеров и предназначенных для создания, переработки и использования всей необходимой информации о свойствах изделий и сопровождающих процессов.

Очень важным этапом при проектировании БПЛА является этап конструирования. Главной целью является создание математически точных геометрических моделей как отдельных деталей, так и всего объекта в целом.

В современном мире происходит формирование геометрической модели, которая получается в результате использования объемного геометрического моделирования, необходимого для создания модели БПЛА.

Рассмотрим основные приемы работы в SolidWorks в режимах Part (Деталь) и Assembly (Сборка).

Режим Деталь является объектной средой, которая позволит строить геометрические твердотельные модели деталей. По умолчанию конструктор получает в свое распоряжение три взаимно перпендикулярные основные плоскости: спереди, сверху и справа. Для начала необходимо выделить плоскость, в которой будет выполнен эскиз базового элемента. После этого в распоряжение разработчика предоставляется эскизная среда, которая имеет все важные инструменты для создания чертежей. Создав эскиз, необходимо нанести размеры и указать все геометрические взаимосвязи между его элементами, которые находятся в

одной и той же среде. Наиболее четко помогает выразить замысел добавление взаимосвязей и уравнений. С помощью средств моделирования поверхностей в режиме Деталь возможно построить даже такие сложные поверхности. В режиме Деталь создаются элементы чертежа, как чистота обработки поверхностей, геометрические допуски, сварные швы, базовые поверхности [44]. Продемонстрируем некоторые тестовые 3D модели составляющих БПЛА (рис. 3.8–3.10).

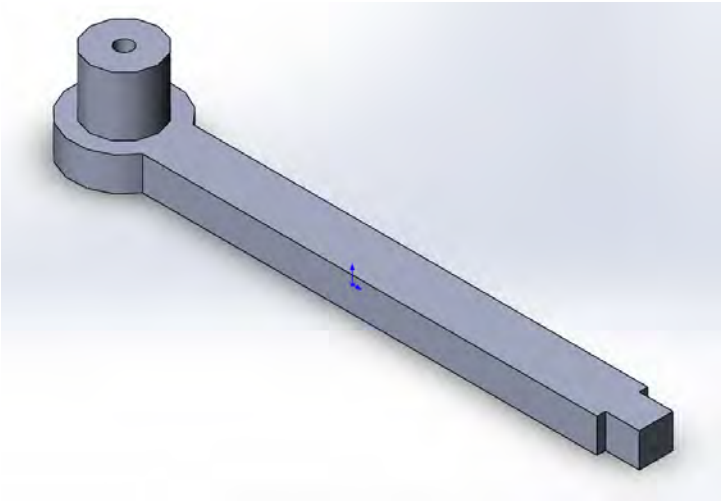


Рис. 3.8. 3D модель элемента "стрела"

В режиме Сборка выполняется объединение, созданных ранее объектов в сборку.

Сборка осуществляется следующими методами:

– сборка "сверху-вниз";
– сборка "снизу-вверх".

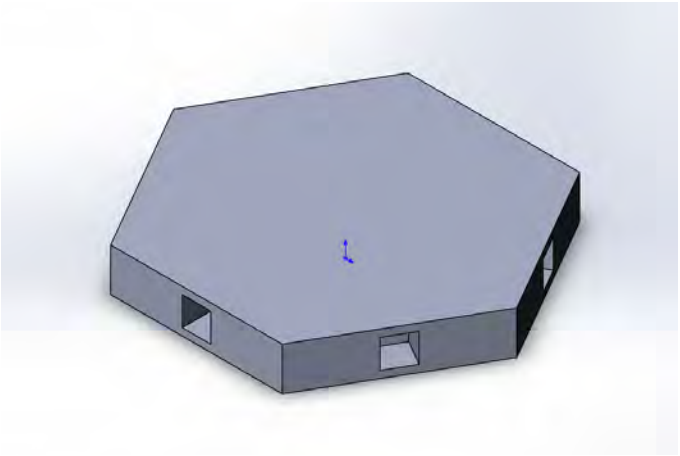


Рис. 3.9. 3D модель элемента "корпус"

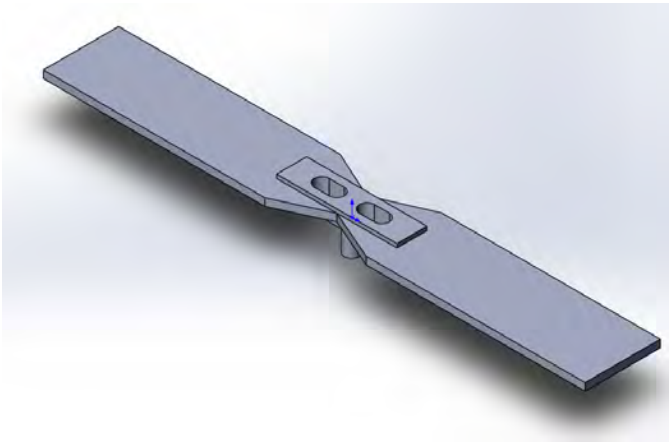


Рис. 3.10. 3D модель элемента "пропеллер"

При использовании метода "снизу-вверх" весь объект будет сформирован путем объединения всех созданных ранее частей, сохранив все конструкторские решения. При подходе "сверху-вниз" процесс создания компонентов в режиме сборки начинается с готовых изделий и в дальнейшей работе создаются другие компоненты. В таком случае мы сможем установить зависи-

мость размеров данных компонентов [44]. Тестовая сборка БПЛА приведена на рисунке 3.11.

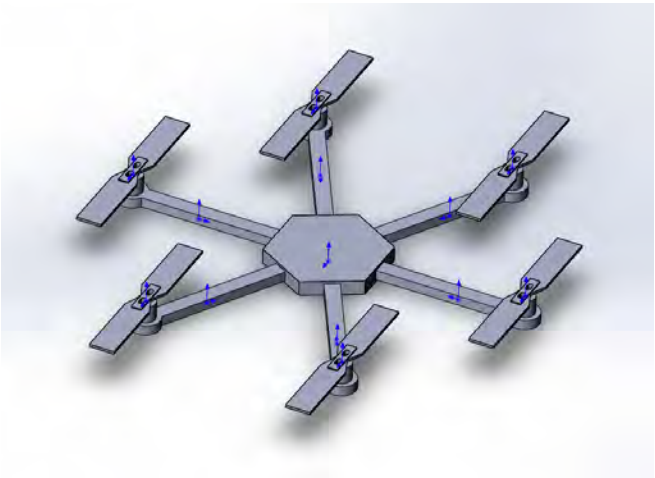


Рис. 3.11. 3D модель БПЛА

3.7. Моделирование динамики полета

Трудоемкое исследование объекта на физико-математическом уровне достигается с помощью модели, которая получена выше. Самые популярные среды Matlab и Simulink способны выдавать необходимую информацию о процессах, которые зависят от времени, что сделает построение модели наиболее эффективным. Для того, чтобы упросить какое-либо звено системы регулятора можно изменить количество винтов в данном БПЛА [45]. Модельно-ориентированный метод способен объединить формирование спецификаций и системных требований, имитационное моделирование, разработку системы в непрерывный рабочий процесс. Существует 4 возможности модельно-ориентированного моделирования, которые применяются при создании встраиваемых систем на микроконтроллерах:

- разработка спецификаций;
- проектирование и моделирование динамических систем;
- генерирование кода;

– верификация и непрерывное тестирование.

Используя специализированные пакеты SimMechanics, которые входят в состав MATLAB Simulink, представляется возможным создать высокоуровневую физико-математическую модель рассматриваемого объекта. Программное, процессорно-программное и аппаратно-программное тестирование необходимо для проверки на правильность работы модели. С-код для локальной операционной системы сможет сгенерироваться и скомпилироваться при использовании тестирования (Software-in-the-Loop). В дальнейшем полученный код используется на указанной имитационной модели. Следующее тестирование, которое именуется как процессорно-программное тестировании (Processor-in-the-Loop) сможет оценить всю эффективность данной системы управления в выбранном целевом процессоре. Полученный при программном тестировании сгенерированный С-код необходимо загрузить в память и затем выполнить на целевом процессоре, который связан с MATLAB Simulink. Далее С-код исполняется на модели и на целевом процессоре в реальном объекте только под влиянием аппаратно-программного тестирования (Hardware-in-the-Loop). Принцип данного метода рассмотрен на рисунке 3.12.

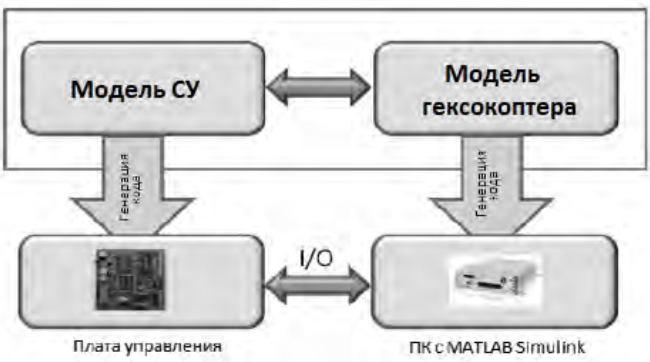


Рис. 3.12. Принцип работы метода Hardware-in-the-Loop

При моделировании работы, когда будет применяться метод Hardware-in-the-Loop (HIL), появится возможность проверить методы обработки экспериментальных данных, эффективность

автоматического управления при решении поставленных задач в нормальных и экстремальных условиях. Главной целью моделирования HIL является необходимость в обеспечении эффективной платформы, которая сможет разработать и проверить встроенные системы в реальном времени, разрабатываемые параллельно с разработкой аппаратных средств. HIL, как метод, даст возможность провести анализ системы управления до существования реального объекта, чтобы решить важную задачу управления представленным БПЛА. Будут получены важные качественные изменения как характеристик так и структуры, а также появится возможность проводить разработку и тестирование систем управления, даже без ущерба объекту и окружающей среде. Реализация метода HIL требует исполнения следующих этапов:

- необходимо построить модель системы управления БПЛА, которая использует стандартные для моделирования систем управления наборы блоков MATLAB Simulink;
- необходимо связать данные модели;
- генерируется программный код для микроконтроллера платы управления, компилируется и загружается в память микроконтроллера;
- связывается модель БПЛА с самой платой управления реального объекта.

С помощью элементов SimMechanics из MATLAB Simulink выполняется построение модели БПЛА. В итоге данная модель на выходе имеет абсолютно идентичный набор информации с платой управления, которая подразумевает информацию о трех координатах в пространстве и трех углах: крена, рысканья и тангажа, а на входе будет получен управляющий сигнал для существующих шести двигателей.

3.8. Заключение

В главе получена математическая модель динамики движения БПЛА, которая в позволяет проводить имитационное моделирование полетов БПЛА в виртуальном 3D пространстве.

Глава 4
СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОВ

4.1. Военные и разведывательные роботы

Вначале рассмотрим военные БПЛА, принцип действия которых изложен в главах 1 и 2.

Робот ZALA 421-08M



Рис. 4.1. ZALA 421-08M

Назначение: разведка территории [31].
Характеристики:

- Радиус действия видео/радиоканала: 15 км / 25 км
- Продолжительность полета: 80 мин
- Размах крыла БПЛА: 810 мм
- Длина БЛА: 425 мм
- Максимальная высота полета: 3600 м
- Запуск: За корпус БПЛА
- Посадка: Парашют / в сеть

- Тип двигателя: Электрический тянущий
- Скорость: 65–130 км/ч
- Максимальная взлетная масса: 2,5 кг
- Масса целевой нагрузки: 300 г
- АКБ: 10000 мАч 4S
- Максимально допустимая скорость ветра: 20 м/с
- Диапазон рабочих температур: –30°C...+40°C

Робот Дозор-600 (Дозор-3)

Российский разведывательно-ударный беспилотный летательный аппарат. Разрабатывается компанией "Транзас". Относится к классу тяжелых средневысотных БПЛА большой продолжительности и дальности полета [52].

Характеристики:

- Взлетный вес, кг: 640.00
- Дальность, км: 3 700.00
- Скорость, км/ч: 210.00
- Практический потолок, м: 7 500.00
- Длина, м: 6,7



Рис. 4.2. Дозор-600

- Высота, м: 2,3
- Размах крыла, м: 12
- Полезная нагрузка, кг: 220
- Двигатель: Rotax 914 мощностью 115 л.с.
- Продолжительность полета, ч: 30

Робот MQ-9 Reaper



Рис. 4.3. MQ-9 Reaper

Боевая версия беспилотного летательного аппарата может нести:

- 14 AGM-114 "Хеллфайр" ракеты "воздух – земля"
- 4 AGM-114 "Хеллфайр" и две бомбы лазерного наведения – GBU-12 Paveway II
- Характеристики:
- Взлетный вес, кг: 4 760.00
- Дальность, км: 5 920.00
- Скорость, км/ч: 482.00
- Практический потолок, м: 15 000.00
- Длина, м: 11
- Высота, м: 3,8
- Размах крыльев, м: 20

- Полезная нагрузка, кг: 1700
- Продолжительность полета, ч: 28

Робот RQ-11 Raven



Рис. 4.4. RQ-11 Raven

Существует 2 версии БПЛА:

1) БПЛА первой версии, названый Block I Raven; его недостатками является трудность посадки БПЛА и неудовлетворительная устойчивость БПЛА в полете.
2) Block 2 Raven; были произведены работы над модернизацией БПЛА и после успешного испытания в Афганистане, аппарату было дано официальное обозначение RQ-11A.

Характеристики:

- Взлетный вес, кг: 1.70
- Дальность, км: 10.00
- Скорость, км/ч: 95.00
- Практический потолок, м: 5 000.00
- Длина, м: 0,96
- Размах крыльев, м: 1,5
- Продолжительность полета, ч: 1

Робот Гермес 900 (Hermes 900)



Рис. 4.5. Гермес 900 (Hermes 900)

Характеристики:

- Взлетный вес, кг: 1 150.00
- Дальность, км: 4 000.00
- Скорость, км/ч: 222.00
- Практический потолок, м: 9 144.00
- Длина, м: 9,1
- Размах крыльев, м: 15,3
- Продолжительность полета, ч: 36
- Полезная нагрузка, кг: 450

Робот Recon Scout

Имеет вес 1,3 кг и длину 200 мм. Этого робота можно забрасывать за препятствия, он ударопрочен и выдерживает сильные броски дальностью свыше 35 метров на твердые поверхности благодаря корпусу из титанового сплава. Встроенная видеокамера, работающая в обычном и инфракрасном диапазоне, позволяет поддерживать устройству возможность видеотрансляции в режиме онлайн. Это позволяет следить за обстановкой вокруг робота в радиусе до 25 метров.



Рис. 4.6. Recon Scout

Управление производится удаленно с помощью пульта управления, мощности сигнала которого хватает в закрытом помещении до 30,5 метров, а на открытом пространстве – 91 метр. При использовании более мощных приемопередающих станций, это расстояние можно увеличить до километра.

Робот 110 FirstLook



Рис. 4.7. 110 FirstLook

Габариты 25x23x10 см, вес 2,5 кг, имеет гусеницы и управляется с пульта, размещенного у оператора на запястье. Робот ос-

нащен четырьмя камерами и может безболезненно падать с высоты 4,5 метра и погружаться в воду на глубину 90 см, способен преодолевать небольшие препятствия. Робот может проработать в обычном режиме на протяжении 6 часов и 10 часов в режиме стационарной слежки. Максимальная скорость передвижения составляет 5,5 км/час. На него можно устанавливать другие датчики: тепловизоры, индикаторы биологического, химического и радиационного заражения.

Робот Dragon runner



Рис. 4.8. Dragon runner

Назначение: разведка, мониторинг и обеспечение безопасности территории [43].

Характеристики:

- Максимальная скорость движения: до 10 км/ч;
- Длина: 38 см
- Ширина: 30 см
- Высота: 13 см
- Масса: 6,4 кг

Робот SWORDS

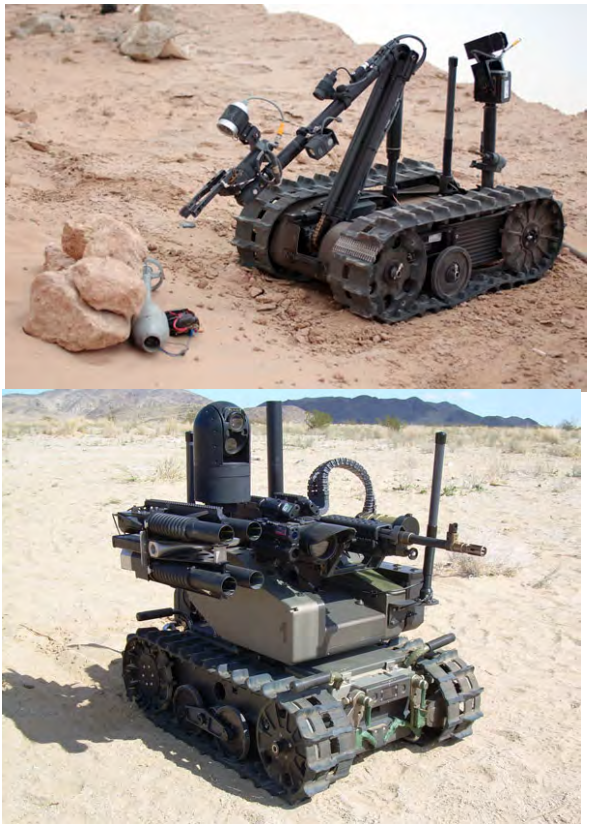


Рис. 4.9. SWORDS

SWORDS – специальная боевая система наблюдения и разведки, разработанная компанией Foster-Miller. Этот робот прекрасно подходит не только для разведки, но и для обезвреживания взрывных устройств. Рассчитан на 8,5 часов работы от батарей в нормальном эксплуатационном режиме и до 7 суток в режиме ожидания. Контролируется оператором на расстоянии до 1000 метров. Он весит около 45 кг или 27 кг в версии для разведки. Стоимость одной единицы составляет $230 тыс. Есть целый ряд различных видов оружия, которые могут быть разме-

щены на SWORDS: винтовки M16, 5,56–мм SAW M249, 7,62 мм пулемет M240, винтовки Barrett M82, шестиствольный 40-мм гранатомет или четырехствольный 66 мм M202A1 FLASH [48].

Робот M1 ABV (Assault Breacher Vehicle)



Рис. 4.10. M1 ABV (Assault Breacher Vehicle)

ABV оборудована минным тралом и зарядами для разминирования, она может ставить дымовые завесы. Базой для штурмовой машины разминирования стал основной американский танк M1 Abrams. Оборонительным вооружением машины является 12,7-мм пулемет M2. Стандартная комбинированная броня боевой машины была дополнительно усилена блоками ERA (Explosive Reactive armour, взрывчатой реактивной брони). Дополнительно на танк были установлены элементы системы дистанционного разминирования MICLIC, общий боезапас зарядов C4 составляет 3175 кг. Также по необходимости на M1 Assault Breacher Vehicle может быть установлен минный плуг, глубина вспашки грунта которым определяется лыжами-полозьями, скользящими по поверхности земли или бульдозерный отвал шириной 4,5 метра. Общая длина боевой машины 12 метров, вес

до 72 тонн. Используется двигатель Honeywell AGT1500C, развивающий мощность 1500 л.с.

Робот Уран-6



Рис. 4.11. Уран-6

Оператор может управлять комплексом на удалении до 1000 метров (на устройстве имеется 4 видеокамеры, которые обеспечивают круговой обзор). Роботизированный саперный комплекс "Уран-6" в состоянии обнаружить, идентифицировать и по команде уничтожить любой взрывоопасный предмет, мощность которого не превышает 60 кг в тротиловом эквиваленте. При этом робот обеспечивает полную безопасность личного состава. Обнаруженные на местности боеприпасы "Уран-6" обезвреживает либо разрушая их физическим способом, либо приводя их в действие. Двигаясь по ровной местности, робот-сапер "Уран-6" может производить разминирование со скоростью до 3 км/ч, а на каменистой местности его скорость работы снижается до 0,5 км/ч. Вес бронированного робота-сапера порядка 6–7 тонн в зависимости от комплектации. При этом робот оснащается двигателем, обеспечивающим ему удельную мощность около 32–37

л.с. на тонну. Этот робот-сапер, имеющий высоту 1,4 метра, в состоянии преодолевать препятствия высотой до 1,2 метра.

Робот Guardium

Guardium – беспилотный военный автомобиль созданый израильской фирмой G-NIUS. Предназначен для патрулирования, сопровождения автоколонн, ведения разведки и охраны. Guardium построен на базе четырехколесного багги, обеспечивающего повышенную проходимость на пересеченной местности. Поступил на вооружение Армии обороны Израиля в начале 2009 года. Оснащается четырехтактным дизельным двигателем Lombardini. Имеет 38-сантиметровый клиренс, 34-сантиметровый ход подвески. Guardium Может патрулировать по заданному маршруту по дороге и пересеченной местности без вмешательства оператора. Развивает скорость до 80 км/ч. Имеет полный дистанционный контроль, двухстороннюю аудио связь, может перемещать до 300 кг полезной нагрузки, на него можно устанавливать оружие.



Рис. 4.12. Guardium

Робот Warrior (Warrior 700 или X700)

Собственный вес Warrior составляет 129 кг; при этом робот может перемещать до 227 кг полезной нагрузки. Перемещается со скоростью до 15 км/ч. Warrior оснащен манипулятором, способным перемещать грузы массой до 68 кг. Робот может перемещаться по лестницам, двигаться вверх по наклонной поверхности под углом в 45°, а также преодолевать препятствия высотой до 47 см.



Рис. 4.13. Warrior (Warrior 700 или X700)

В комплектацию робота входит система гранатометов и пулеметов Metal Storm с электронной схемой управления стрельбой и дальностью 800 метров. Скорострельность пулемета доходит до 16 выстрелов в секунду. На него можно установить пулемет калибра 7,62 мм, автоматический дробовик, ПТРК и другое оружие.

Робот CaMEL



Рис. 4.14. CaMEL

Это плоская платформа на колесном ходу, которая кроме вооружения может нести еще и 550 кг груза. На колеса можно одевать резиновые гусеницы, что значительно повышает проходимость CAMEL по пересеченной местности. Робот может сопровождать боевые подразделения и двигаться автономно, ориентируясь на сигналы GPS.

Camel в своей конфигурации системы огневой поддержки может перевозить различное оружие, в том числе 40-мм автоматический гранатомет МК-19, тяжелый пулемет М2, пулемет М240/249, а также 25-мм и 30-мм системы вооружения. Он также может перевезти 400 кг оборудования с максимальной скоростью 9 км/ч по пересеченной местности. Гибридная конструкция CaMEL – дизельный двигатель в сочетании с аккумулятором – не только обеспечивает более 20 часов непрерывной работы на 16 литрах топлива, но и вырабатывает энергию, которую можно экспортировать и использовать для зарядки батарей питания или других систем.

Робот Crusher



Рис. 4.15. Crusher

Характеристики:

- Боевая масса, кг: 6350
- Длина, мм: 5105,4
- Ширина, мм: 2590,8
- Высота, мм: 1524
- Скорость по пересеченной местности, км/ч: 42
- Вооружение на борту 2,7-ммкрупно-калиберный тяжелый пулемет M2HB

Робот Black Knight



Рис. 4.16. Black Knight

Длина экспериментальной машины не превышает 5 метров, ширина равняется 2,44 м, высота – не более 2 м. Боевая масса прототипа примерно равно 9,5 тонны. Первый прототип Black Knight оснащен двигателем фирмы Caterpillar мощностью 300 лошадиных сил. Гусеничная ходовая часть имеет в своем составе по пять опорных катков на борт. Имея такую силовую установку и ходовую часть прототип машины "Черный рыцарь", как утверждается, на шоссе может развивать скорость до 77 километров в час. Кроме электроники Black Knight несет вооружение, аналогичное оружию БМП M2 Bradley. Это автоматическая пушка M242 калибра 25 миллиметров и спаренный с ней 7,62-мм пулемет M240.

Робот Уран-9



Рис. 4.17. Уран-9

"Уран-9" – это многофункциональный робот, предназначенный для дистанционной разведки и огневой поддержки разведывательных, антитеррористических и общевойсковых подразделений армии. В состав комплекса входят два робота-разведчика, тягач для их транспортировки и передвижной пункт управления.

на вооружении робота стоят 30-мм автоматические пушки 2А72, спаренный 7,62-мм пулемет и противотанковые управляемые ракеты "Атака". При этом состав вооружения может меняться в зависимости от требований. В систему защиты БР входят система предупреждения о лазерном облучении и оборудование для обнаружения, распознавания и сопровождения целей.

Робот Платформа-М

Российский серийный роботизированный комплекс, представляющий универсальную самоходную гусеничную дистанционно-управляемую платформу [51]. Разработан в ОАО "НИТИ "Прогресс" по заказу Минобороны РФ. Впервые широкой

публике продемонстрирован на параде Победы в Калининграде в 2015 году.

Характеристики:

- Вес машины составляет 800 кг
- полезная нагрузка – 300 кг
- Управлять "Платформой" можно на дистанции 5 км
- Дальность действия – до 1500 м
- Скорость – до 12 км/ч
- Проходимость – препятствия высотой (глубиной) 210 мм, уклон не менее ± 25 градусов
- Время непрерывного движения бронированного по 3 классу защиты – не менее 10 часов
- Габариты: длина – не более 1600 мм, ширина – не более 1200 мм, высота – не более 1200 мм



Рис. 4.18. Платформа-М

Робот Платформа-Арго

Платформа-Арго – российский боевой роботизированный комплекс [53]. Предназначен для ведения разведки и патрулирования местности, способен поражать живую силу, а также не-

бронированную или легкобронированную технику противника. Способен передвигаться на пересеченной и горной местности. Может применяться при проведении морских десантных операций. Дистанционно управляемый, он способен обеспечить огневую поддержку десантно-штурмовым группам, производить разведку побережья, обеспечить доставку грузов и боеприпасов для подразделений, ведущих бой на берегу.

Технические характеристики Боевого роботизированного комплекса (РБТК) "Арго":

- Полная снаряженная масса не превышает 1020 кг;
- Максимальная скорость передвижения 20 км/ч, по воде – до 2,5 узлов;
- Максимальные габариты 3350×1850×1650 мм;
- Время непрерывной работы, не менее 20 часов;
- Вооружение: Пулемет ПКТ калибра 7,62 мм, 3 РПГ-26, РШГ-2.



Рис. 4.19. Платформа-Арго

Робот REMUS (Remote Environmental Measuring UnitS)



Рис. 4.20. REMUS (Remote Environmental Measuring UnitS)

Характеристики:

- Максимальный диаметр: 19 см (7,5 дюйма)
- Максимальная длина: 160 см (63 дюйма)
- Вес: вес в воздухе: 37 кг
- Максимальная рабочая глубина: 100 м
- Энергопитание: 1 кВт/ч внутренне перезаряжаемые литий-ионные аккумуляторы
- Выносливость: 10 часов при оптимальной скорости 1,5 м/с (3 узла)> 8 часов при 2,6 м/с (5 узлов)
- Диапазон скоростей: до 2,3 м/с (4,5 узлов)
- Включение/Выключение: Магнитный переключатель. Ретранслятор: диапазон рабочих частот –20–30 кГц.

Робот "Ариэль II" (Ariel II)

"Ариэль II" весит около 11 кг и может брать полезную нагрузку до 6 кг. Длина корпуса аппарата – 550 мм, длина наибольшая по манипуляторам с компасом и креномером – 1150 мм, ширина – 9 см в низком положении и 15 см – на приподнятых "ногах". Робот способен работать на глубинах до 8 м. Источник питания – 22 никель-кадмиевые батареи. Конструктивно "Ариэль II" представляет собой крабообразный аппарат, имеющий основной корпус и шесть прикрепленных к нему ног, обладающих двумя степенями свободы. Система управления целевой нагрузкой – распределенная.



Рис. 4.21. "Ариэль II" (Ariel II)

Робот имеет режим уничтожения мин. Обнаружив мину, робот останавливается и занимает позицию в непосредственной близости от мины, ожидая команды. По получении с КП соответствующего сигнала робот подрывает мину. Таким образом, "стая" этих роботов может одновременно почти полностью или даже в полном объеме уничтожить противодесантное минное заграждение в районе планируемой высадки морского десанта.

Робот АНПА "Дельфин"

Назначение: картографирование рельефа дна, выполнение обзорной гидролокационной и фотосъемки морского дна, обследование донных сооружений, портовых акваторий, мониторинг морской среды, включая места захоронения химических и взрывчатых веществ, обследование подводных потенциально опасных объектов.

Используется МЧС России. Целевые нагрузки: сменные модули целевых нагрузок с цветной и черно-белой камерой высокого разрешения, прожектором, донным профилографом, гидролокаторами, датчиками глубины, доплеровским лагом и навигационной системой, маяками-ответчиками. Технические дан-

ные: система управления – автопилот по заданной программе или в автоматическом режиме с возможностью коррекции по гидроакустическому каналу; масса на воздухе – 300 кг; размеры (Д × диаметр) – 3,0×0,5 м; максимальная глубина погружения – 3000 м; скорость – 3 узл.; запас хода при работе в автономном режиме – 100 км.



Рис. 4.22. АНПА "Дельфин"

Характеристики:

- Рабочая глубина: 50 м
- Вес в воздухе: 15 кг
- Габаритные размеры: 1100 мм, диаметр корпуса 150 мм
- Автономность: 8 часов на скорости 3,0 узла
- Диапазон изменения скорости: от 1 до 4 узлов
- Связь: WiFi, GSM/HSDPA
- Питание: 2-штырьковый разъем для зарядки постоянным током
- Навигация: GPS, доплеровский лаг, компас, датчик глубины и скорости, INS, ГАНС ДБ
- Дистанционное управление: Запуск миссии, дистанционное управление перемещением аппарата
- Источник питания: Перезаряжаемые литий-ионные батареи 546 Вт·ч
- Движительная система: Трехлопастной винт (бронза).

Робот АНПА "Гавиа"

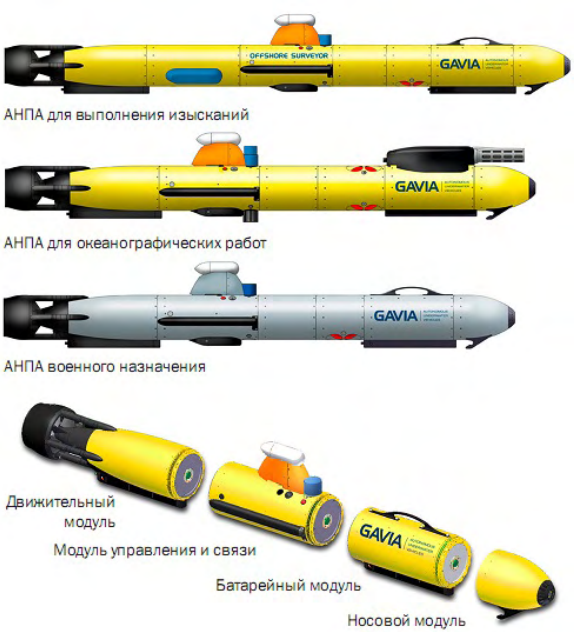


Рис. 4.33. АНПА "Гавиа"

Характеристики:

- Длина: 1800 мм
- Вес в воздухе: 49 кг
- Диаметр: 200 мм
- Рабочая глубина: 500 или 1000 м
- Аккумулятор: 1,2 кВт литий-ионные батареи; Два батарейных модуля могут быть использованы одновременно
- Максимальная скорость: 5,5 узлов
- Автономность: В зависимости от конфигурации и скорости перемещения; в среднем: 4–7 часов
- Навигация: GPS-приемник (на поверхности); DGPS-приемник с приемом поправок WAAS/EGNOS; Индукционный компас, датчик ориентации (точность:

±(1–5)°); Инерциальная навигационная система: комплексированная доплер-инерциальная система (ИНС, доплеровский лаг), точность: накопление ошибки 3 м/ч при 3 узлах.

Робот на гусеничном ходу для мониторинга окружающей среды ПС-04Р

ПС-04р состоит из подвижного аппарата на 2-х гусеничном шасси повышенной проходимости и мобильного поста управления. На корпусе установлено подъемное устройство с платформой в верхней части, предназначенное для размещения обзорной видеокамеры и других устройств, 2 видеокамеры управления, цифровая поворотная видеокамера малой дальности с оптическим зумом, аналоговая поворотная камера повышенной четкости, цифровая HD записывающая камера, стационарное оборудование радиационной разведки с датчиком GPS, навесное оборудование для радиационной разведки, аппаратура радиоуправления и передачи цифровой информации.

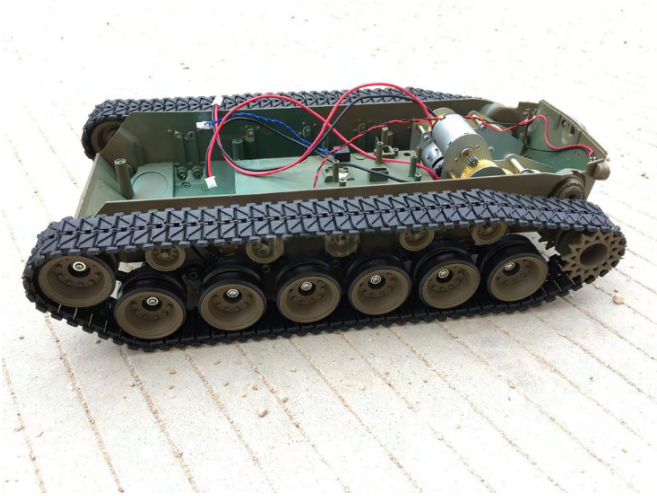


Рис. 4.34. Гусеничная платформа

ПС-04р штатно комплектуется навесным оборудованием:

- системой гамма-съемки загрязненных территории "ДКГ-01 СТАЛКЕР":
- измерителем мощности поглощенной дозы гамма-излучения с измерением поглощенной дозы;
- четырьмя телевизионными камерами (2 поворотные);
- подъемным устройством для обзорных видеокамер на высоту 1,42 м;
- передней и задней осветительной фарами;
- микрофоном на подвижном аппарате для передачи на пост управления звуковой информации. Работает с использованием радиосвязи (800 м в прямой видимости).

Управление ПС-04р осуществляется с поста управления специально оборудованного автомобиля или с переносного поста. Оба поста имеют в своем составе телевизионный монитор и видео-очки для дистанционного управления, компьютер для вывода карты радиационной обстановки.



Рис. 4.35. Универсальный пост управления

РТК обладает следующими основными техническими данными: масса – 75 кг, длина – 1002 мм, ширина – 500 мм, высота – 480 мм, максимальная скорость перемещения – 9 км/ч. Имеется возможность преодолевать различные виды препятствий

(проемы 550×600 мм, лестничные переходы с уклоном до 40°, барьеры высотой до 200 мм, траншеи шириной до 600 мм), выполнять разворот на месте, перемещаться по различным видам поверхностей, в том числе по снежному покрову глубиной до 150 мм. Питание аппаратуры и ходовых двигателей осуществляется от аккумуляторной батареи с возможностью подзарядки от зарядного устройства, время непрерывной работы – 3 часа.

Для осуществления мониторинга радиационной и химической загрязненности окружающей среды предлагается использовать прибор собственной разработки.

Для создания прибора предлагается использовать микроконтроллер, который бы опрашивал прибор (индикатор) и GPS для получения информации о местоположении робототехнической платформы, объединял полученные данные и передавал их по радиоканалу на пульт управления.

Для создания индикатора радиационного загрязнения был выбран микроконтроллер Arduino UNO (рис. 4.36), который имеет следующие характеристики: микроконтроллер ATmega328, рабочее напряжение 5В, напряжение питания 6–20В, 14 цифровых входов/выходов, 6 аналоговых входов (АЦП), тактовая частота 16 МГц [15].

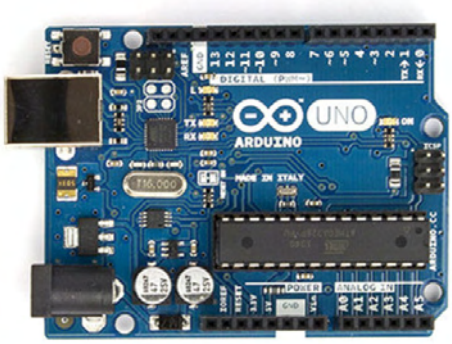


Рис. 4.36. Внешний вид микроконтроллера Arduino UNO

К данному микроконтроллеру подключается GPS датчик (рис. 4.37) для определения место нахождения робототехнического комплекса, в качестве прибора для определения уровня

радиационного загрязнения используем детектор излучения DIY Kit с датчиком СБМ-20 (рис. 4.38).

Особенностью этого датчик является наличие встроенной в него GPS антенны, т.е. его достаточно просто подключить к микроконтроллеру и загрузить соответствующую программу. Датчик GPS имеет следующие характеристики: точность позиционирования – 2,5 mCEP (SBAS: 2.0 mCEP), частота обновления – максимум 10 Гц (по умолчанию 1 ГЦ), протокол: NMEA [17].

Детектор излучения имеет следующие технические характеристики:

- Трубка Гейгера PCB совместима с J305, M4011, STS-5, SBM-20;
- Анодное напряжение 350–480В;
- Звуковая и визуальная индикация;
- Напряжение питания: 5В;
- Ток: 12 мА;
- Размеры: 120 х 50 мм;
- Вес: 150 г.



Рис. 4.37. Датчик GPS со встроенной антенной NEO-7m



Рис. 4.38. Детектор излучения DIY Kit

Схема подключения датчика GPS и детектор излучения DIY Kit к плате микроконтроллера Arduino UNO приведена на рисунке 4.39.

Связь микроконтроллера с компьютером, установленным в пульте управления, осуществляется с помощью радиомодема по протоколу RS-232.

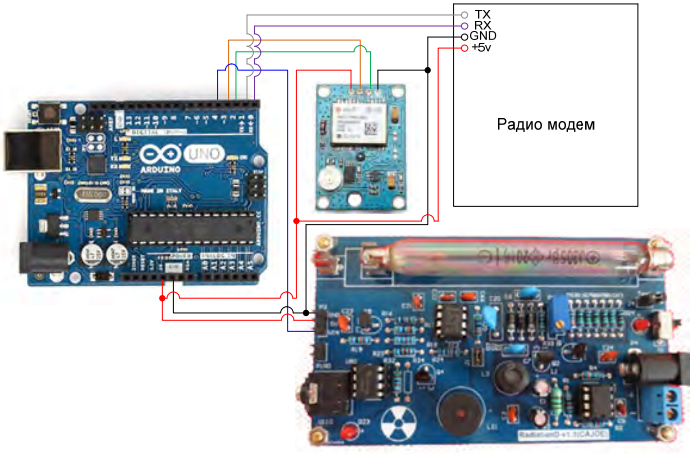


Рис. 4.39. Схема электрических соединений прибора

РТК также обладает возможность эксплуатирования при температурах от –35 до +35 °С, при максимальном значении относительной влажности воздуха при +25 °С составляет 98%.

Робот-колесо ДУС ПСН-02

В настоящее время изготовлена и испытана многофункциональная дистанционно-управляемая система ДУС ПСН-02 (Дуся).

Платформа состоит из гексокоптера, помещенного в конструкцию, напоминающую колесо, из композитного материала (рис. 4.38). Существенным отличием от американской разработки является применение двух дополнительных двигателей, размещенных на оси, параллельной вращающейся оси устройства. Эти двигатели имеют возможность управляемого вращения относительно точки крепления. Данная схема позволила осуществлять движение в горизонтальной плоскости только с помощью двух дополнительных двигателей, сила тяги которых направлена вдоль оси движения, что существенно снизило энергозатраты [18].

Повороты в движении осуществляются разностью тяги на двигателях. Применение данной схемы дало возможность осуществлять развороты на месте, когда один из двигателей разворачивается на своей оси и тянет в противоположную сторону. При перелете препятствий платформа с четырьмя винтами всегда остается параллельной земле и стабилизируется в этом положении микропроцессорной системой стабилизации, что позволило повысить стабильность в полете и уменьшить раскачку. Перемещение в горизонтальной плоскости обеспечивают дополнительные два двигателя, поворачиваясь на нужный угол. В случае отказа одного из четырех двигателей подъемной платформы двигатели движения поворачиваются параллельно остальным и обеспечивают относительно мягкое приземление устройству, что существенно повышает живучесть и надежность систем.

В ходе испытаний были получены следующие результаты:

- устройство осуществляет перемещения в горизонтальной плоскости при минимуме затрат электроэнергии, время непрерывной работы увеличилось по сравнению с импортным прототипом с 12 до 52 мин;
- увеличилась маневренность аппарата вплоть до разворота на месте, что позволило применять конструкцию в стесненных условиях помещений и сооружений;
- существенно упростилась система управления;
- повысилась живучесть при возможных отказах компонентов.

Разработанная робототехническая платформа (рис. 4.40) имеет следующие тактико-технические характеристики и возможности:

- габариты (длина × ширина × высота) – 1000 × 900 × 900;
- скорость перемещения – до 40 км/ч;
- грузоподъемность дополнительного оборудования – 3,5 кг;
- вес без оборудования 3,7 кг;
- преодоление водных преград шириной до 50 м;
- преодоление вертикальных препятствий высотой до 30 м;
- преодоление рыхлого снежного покрова.



Рис. 4.40. Робот-колесо ДУС ПСН-02

4.2. Медицинские роботы

Стремительное развитие робототехники и компьютерных технологий открывает новые возможности во многих областях деятельности человека, в том числе и в медицине. Если проанализировать хронологию сообщений о новых разработках роботов, то можно заметить, что в период 2005–2010 годы наблюдался резкий скачок сообщений о проектах по созданию медицинских роботов в большинстве ведущих стран мира.

Будущее, в котором в больницах работают роботы и многочисленные инженеры по их технической поддержке, становится все более реальным. По меткому выражению американского инженера и предпринимателя Д. Энгельбергера, получившего титул "отца робототехники", больницы – это идеальное место и идеальная окружающая среда для использования роботов.

Полностью заменить человека роботы в обозримом будущем пока не способны, тем более в медицине, однако быть курьером в пределах одной больницы, брать интервью и собирать жалобы у пациентов, помогать им передвигаться в пределах клиники без непосредственного участия человека, роботы могут уже сегодня.

Уже сегодня существует множество разнообразных медицинский роботов, выполняющих как простые санитара или медсестры, помощь в передвижении больных, уход за нимим, забор крови так и сложные дорогостоящие роботы, позволяющие производить диагностику и сложнейшие операции. Количество их ежегодно увеличивается примерно на 20%. Уже в ближайшие годы аналитики ожидают значительного прогресса в создании медицинских роботов, способных делать более сложные операции.

Классификация медицинских роботов

Основываясь на выполненном обзоре, можно сказать, что сегодня, среди всего многообразия медицинских роботов, можно более обоснованно вычленить те отдельные специализированные направления, опираясь на которые возможна общедоступ-

ная классификация медицинских роботов по типу решаемых роботами задач:

1. Робот манипулятор-врач ("хирург", "терапевт" и т.п.) – автоматизированные электронно-механические манипуляторы, способные проводить хирургические операции, диагностическое обследование или терапевтическое лечение под непосредственным контролем и управлением со стороны человека-врача.
2. Робот манекен – робот-симулятор анатомического строения, функциональной организации и поведения человека, предназначенный для обучения медработников.
3. Реабилитационный робот – робот, предназначенный для занятий с больным в целях ускорения реабилитации пациентов после различных заболеваний.
4. Роботизированные протезы, включая целые экзоскелеты – "интеллектуальные" электронно-механические устройства, исполняющие у пациента роль утраченной или потерявшей работоспособность части тела, органа, конечности.
5. Роботы помощники – роботы, запрограммированные самостоятельно выполнять работу низкой и средней квалификации, поддающуюся точной алгоритмизации: отнести документы, подать нужный инструмент хирургу, рассортировать лекарства, взять интервью у больного по определенному шаблону, измерить ему температуру и т. п.
6. Медицинские микро- и нанороботы – роботы малых размеров, способные выполнять различные медицинские задачи внутри организма пациента.

Робот "Да винчи"

Первые намеки на специализированные медицинские роботы появились в конце 1980-х начале 1990-х годов в виде хирургических манипуляторов. Робот Да Винчи стал применяться, начиная с 2000 года. Механические руки значительно уменьшили разрез и кровопотери при операции, повысили точность движений, снизили время операции и послеоперационный реабилита-

ции. Наибольшее распространение по всему миру на данный момент времени получила хирургическая система хирургических манипуляторов "Да Винчи" ("da Vinci"). Она состоит из операционной консоли с четырьмя манипуляторами, управляющей панели и приборной доски. С помощью джойстика ведется управление действиями механических манипуляторов. В режиме реального времени робот копирует движения хирурга, сидящего за пультом управления [54–56].

Специальная видеокамера позволяет проецировать на экран трехмерную картину происходящего в операционном поле. Именно создание технологии трехмерного видения сделало возможным весь этот проект, т.к. обычная двумерная картинка на экране монитора не позволяет оператору точно позиционировать хирургический инструмент в пространстве, особенно по "глубине" изображения.

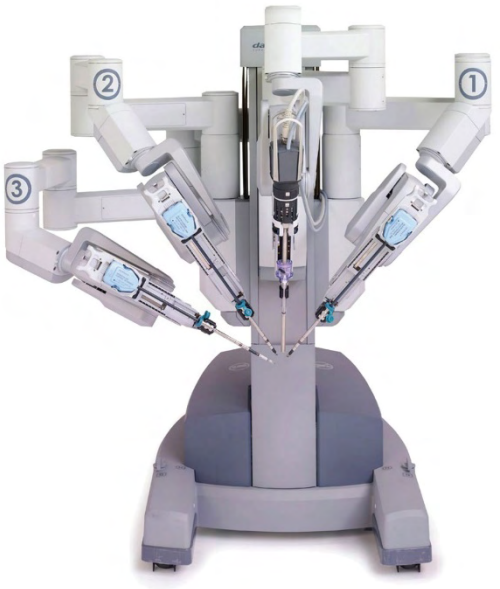


Рис. 4.41. Робот "Да Винчи"

Основное преимущество этого "робота-хирурга" – создание возможности человеку-хирургу проводить дистанционно микроманипуляции с любым инструментом без опасности совершить случайное неловкое движение (робот блокирует такие движения), в том числе – возможность проводить сложные хирургические операции дистанционно, например, не входя непосредственно в операционный блок (там находятся лишь ассистенты и младший медперсонал), т.е. не теряя время на длительную предоперационную подготовку (переодевание, дезинфекция рук и пр.). Только в Европе и США насчитывается сегодня в работе около 800 таких систем. В России робот "Да Винчи" также присутствует. В ведущих клиниках по всему миру на практике 70% урологических процедур совершается с помощью роботов, в основном для простатэктомий, но в некоторых случаях для абляций почек или коррекции аномалий мочевой системы.

В Соединенных Штатах, примерно 80% простатэктомии при раке предстательной железы выполняются с помощью хирургического робота Да Винчи (больше чем 73 000 операций в год). Во Франции эта доля составляет только 25%. Распространение технологии связано со значительными преимуществами данной уникальной роботизированной системы при проведении минимально инвазивной хирургии: уменьшение послеоперационных болей, снижение кровотечения и рубцов. В конечном счете, более короткое пребывание в больнице и скорое возвращение к привычной жизни пациентов. Главным недостатком хирургического робота Да Винчи является его высокая стоимость от 1,5 до 2,3 млн евро, а также высокие эксплуатационные расходы.

Японский робот-хирург

В 2013 году командой молодых японских ученых был представлен новый робот-хирург. Робот управляется дистанционно. В отличие от большинства других роботов-хирургов с электрическим приводом японский робот имеет пневматический привод. Это позволяет ему более аккуратно и мягко прикасаться к объектам. Хирург может ощущать давление, оказываемое на кончики пальцев робота. По словам разработчиков, еще одно

преимущество системы в ее компактности и легкости. Настройки робота легко меняются в зависимости от конкретных задач. Например, можно сделать так, чтобы робот не реагировал на дрожание рук. Также возможно изменить скорость движения и силу оказываемого давления. Исследователи намерены сделать робота не слишком дорогим. Его стоимость будет в 3–10 раз ниже стоимости робота-хирурга da Vinci [57].

Самособирающийся робот ARES

Итальянская разработка – **самособирающийся робот ARES** (Assembling Reconfigurable Endoluminal Surgical System, Самособирающаяся эндолюминальная хирургическая система с изменяемой конфигурацией) для проведения операций без разреза кожных покровов [58].



Рис. 4.42. ARES

Робот разработан для проведения операций без повреждения кожных покровов пациента. Этого робота сначала нужно съесть: пациент проглатывает его по частям, а выходит робот через кишечник. Робот внутри человека собирает сам себя. Робот по

беспроводной связи полностью контролируется оператором. Каждый из отдельных узлов системы может быть отсоединен в любой момент времени в случае, если он, например, перестанет функционировать, или в нем отпадет необходимость. Причем модуль может быть не просто отсоединен, он может быть заменен на необходимый даже во время операции.

Калифорнийский робот-тренажер [58]

На данный момент известен ряд завершенных разработок роботов, призванных помочь людям при таких заболеваниях, как инсульт, аутизм, болезнь Альцгеймера. В Калифорнийском университете ведутся исследования, как роботы могут помочь жертвам инсультов восстановить мобильность их конечностей. В этом исследовании уже приняло участие 15 пациентов.



Рис. 4.43. Робот- тренажер

Все они страдали от инсульта не менее 10 лет. Пациенты проходили лечение у робота, который помогал человеку сжимать свою руку. Робот создает условия для формирования различных положений кисти руки и помогает через разные упраж-

нения работе соответствующих мышц пальцев. А это позволяет дать сигналы мозгу о правильном действии мышц руки. После нескольких месяцев лечения состояние пациентов улучшалось. Следует отметить, что эта технология может существенно снизить время потери трудоспособности больного после инсульта.

Кибер-Нож G4

Кибер-Нож G4 (CyberKnife G4) – роботизированная система радиохирургии для лечения рака и удаления опухолей, представляет собой современнейшую автоматизированную систему стереотаксической радиохирургии самого последнего поколения, которая состоит из трех основных компонентов:

1. Прогрессивный, легкий линейный ускоритель. Это устройство используется для генерации радиоактивных "убивающих лучей" высокой энергии,
2. Робот с очень подвижной "рукой", который может манипулировать закрепленным на ней линейным ускорителем под самыми разными углами,
3. Несколько рентгеновских камер (устройства слежения и обработки изображений), которые объединены с мощным программным обеспечением для отслеживания позиций пациента и опухоли. Рентгеновские камеры в процессе лечения постоянно получают частые изображения пациента и используют эту информацию для нацеливания пучка излучения, испускаемого линейным ускорителем.

Робот играет важную роль в нацеливании именно этим устройством – линейным ускорителем. Когда во время лечения пациент перемещается, рентгеновские камеры обнаруживают и фиксируют изменение в его позиции, а робот соответствующим образом подстраивает и направляет линейный ускоритель еще до введения пучка излучения. Этот процесс непрерывного обнаружения и исправления обеспечивает точное направление излучения вовремя.

Кибер-Нож обеспечивает беспрецедентную точность облучения опухолей высокой дозой радиации, при котором не затраги-

ваются здоровые ткани. Стоимость может доходить до $5,000,000.



Рис. 4.44. Устройство системы радиохирургии CyberKnife

Кибер-Нож (CyberKnife) – это пример самых совершенных достижений отрасли высоких технологий, примененных для создания уникального медицинского прибора, в котором сочетаются лучевая хирургия, робототехника и компьютерная навигация [59].

Робот-диагност IBM Watson

IBM Watson – суперкомпьютер из 90 серверов по 4 восьмиядерных процессора в каждом, а его оперативная память – 16 терабайт. "Ватсон" самостоятельно изучает источники информации и делает выводы [60]. Прежде чем приступить к работе, будущий диагност проанализировал 605 000 медицинских документов, общей сложности 2 миллиона страниц текста. Перед началом врачебной практики компьютер проанализировал 25 тыс. историй болезни и проработал 14,7 тыс. для тонкой настройки алгоритмов. С целью пополнения базы знаний компания IBM заключила соглашение с одним из ведущих центров изучения рака Memorial Sloan Kettering, где собран огромный архив медицинской информации. Врач загружает в память робота историю болезни и через несколько минут получает вероятный диагноз и курс лечения.

В 2013 году шесть "Ватсонов" были приняты в клиники США в качестве онкологов-диагностов. Результаты превзошли все ожидания: суперкомпьютеры ставят диагноз и выбирают курс лечения на 40% точнее, чем живые врачи. Впрочем, итоговое решение все равно остается за онкологом-человеком. С суперкомпьютером можно посоветоваться. Например, отправить сообщение вроде "Пациент ночью кашлял" или – "Ватсон" тут же пересмотрит историю болезни и уточнит вердикт.

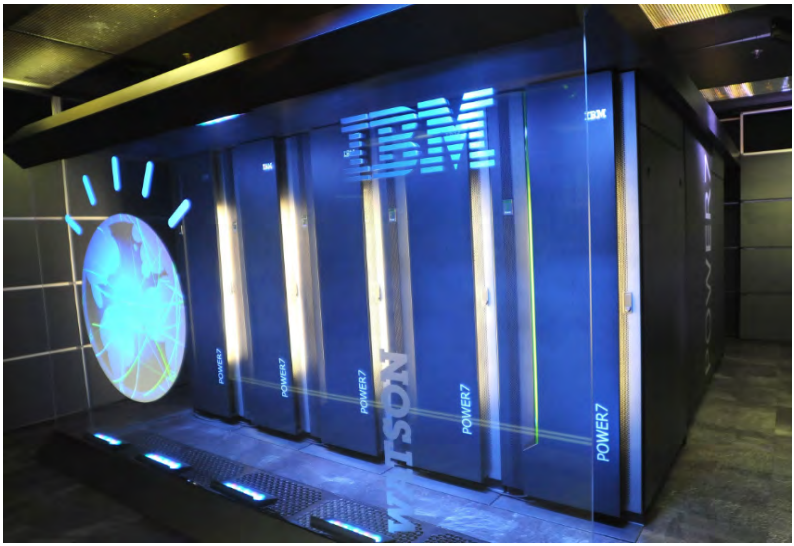


Рис. 4.45. IBM Watson

Робот "Simroid" для обучения студентов-дантистов

На Международной выставке в Токио в 2007 году состоялась презентация робота-девушки "Simroid" (сокращение от "Simulator Humanoid"), созданного доктором N. Shibui совместно с компанией "Kokoro". Робот предназначен для обучения практическим навыкам студентов-дантистов. "Simroid" открывает и закрывает рот при помощи аэромышц, которые покрыты силиконовой кожей. Весь рот робота заполнен сенсорами, поэтому если студент-стоматолог допускает ошибку, механическая

девушка корчит гримасу, показывая дискомфорт [49].

В 2009 г. норвежская фирма "Laerdal" в Сан-Диего представила свою последнюю модель манекена-тренажера "SimMan". Он может истекать кровью, хрипеть и стонать – то есть воспроизводить разные реальные реакции человека. Во время занятий он может имитировать типичную для несчастных случаев пульсацию сердца, нормальные и патологические движения легких, сокращения кишечника и т.п.

Робот-симулятор HPS (Human Patient Simulator)

Стационарный робот-манекен, предназначенный для моделирования разнообразных клинических ситуаций в самых различных областях – от анестезиологии и реанимации, до военной медицины [49]. Имеет самую мощную среди серии симуляторов-манекенов управляющую аппаратную часть (сервер, компрессор, газовое оборудование, подача жидкостей и пр.), позволяющую воспроизводить самые мельчайшие нюансы человеческой физиологии, вплоть до газообмена в легких, кровотечения, выделения пота, мочи, слез и пр. Предназначен для оснащения крупных университетских и корпоративных центров. Позволяет отрабатывать навыки врачебной, сестринской и доврачебной помощи в кардиологии, пульмонологии, эндокринологии, акушерстве, анестезиологии и реаниматологии, токсикологии, военной медицине и пр.

Робот-манекен HPS обладает целым рядом особенностей конструкции и функциональных характеристик. Робот вдыхает и поглощает кислород, выдыхает углекислый газ, причем степень газообмена зависит от физиологического статуса и введенных препаратов. Зрачки реагируют на свет, а также на другие факторы, например, находится ли пациент в сознании. Фармакологическая система-робот распознает не только само лекарство, но и введенную дозу, в зависимости от чего автоматически происходит изменение жизненных параметров.

Автономный робот STAR

STAR (Smart Tissue Autonomous Robot) – американский умный автономный робот для работы с тканями[49].

5 мая 2016 года, стало известно, что впервые в истории роботу удалось провести операцию на мягких тканях живого организма – наложение кишечного анастомоза. Об этом сообщил журнал Science News.

В настоящее время роботы практически не способны действовать в качестве хирургов: они точно делают надрезы, продевают нитки и затягивают их в узлы – однако качество их визуальных систем оставляет желать лучшего. Машины плохо различают границы между внутренними органами, кровеносными сосудами и другими элементами организма человека, и поэтому пока применялись только "на подхвате" у живых хирургов.

STAR частично решил эту проблему за счет флуоресценции в ближнем инфракрасном диапазоне и техники пленоптической визуализации – он создает трехмерную модель мира, сопоставляя изображения с нескольких видеокамер. Для максимально точного контроля над своими движениями STAR применяет манипулятор с восемью степенями свободы. При накладывании анастомоза очень важно соблюдать промежутки между швами и не натягивать чрезмерно нить. STAR справился с этой задачей. При осуществлении манипуляций он ориентировался по предварительно нанесенным на ткани флуоресцентным меткам.

Под руководством человека STAR удалось наложить швы и кишечный анастомоз (соединение элементов тонкой кишки) так же хорошо, как это делают живые хирурги. Однако времени на все эти манипуляции роботу понадобилось в пять раз больше.

В отличие от обычной практики применения роботов-хирургов, где они выступают в качестве вспомогательного инструмента, STAR большую часть времени действовал самостоятельно под надзором врачей, которые иногда поправляли робота или помогали ему, например, придержать шовный материал. По оценкам исследователей, робот действовал целиком самостоятельно около 60% всего времени проведения операции.

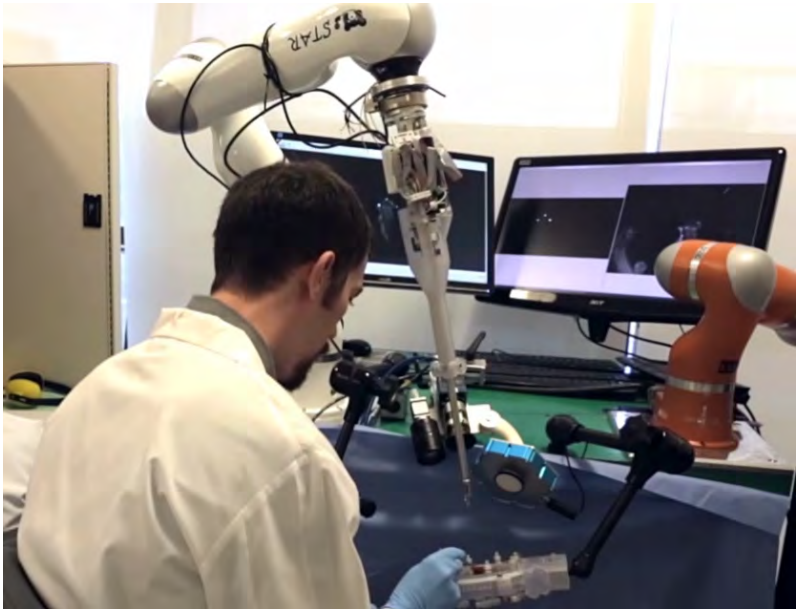


Рис. 4.46. STAR

4.3. Нанороботы в медицине

Ученые утверждают, что настанет тот день, когда с помощью нанотехнологий в кровяные клетки человека можно будет встраивать микроскопические датчики, предупреждающие о появление признаков радиационного излучения или развития болезни. Прогнозируемый срок реализации – 1-я половина XXI века [49].

А пока ученые трудятся над созданием медицинских нанороботов, журналисты и общественность спорят, могут ли наносенсоры повлиять губительно на организм человека? Ведь неизвестно как отреагирует организм на введенные в него чужеродные тела? Как выразился Эрик Дрекслер "невидимое оружие всемирного переворота, покрывающие землю "серая слизь" (graygoo)".

Действительно ли, нанотехнологии могут стать причиной конца света или это всего лишь богатая фантазия некоторых ученых?

Что такое нанотехнологии?

Прежде чем говорить о возможных рисках и перспективах нанотехнологий сначала надо сказать – что же это такое? Для этого понятия не существует исчерпывающего определения. "Нанотехнологии" – это технологии, оперирующие величинами порядка нанометра. Это ничтожно малая величина, в сотни раз меньше длины волны видимого света и сопоставимая с размерами атомов. Развитие нанотехнологии ведется в 3-х направлениях:

- изготовление электронных схем размером с молекулу (атом);
- разработка и изготовление машин
- манипуляция атомами и молекулами.

Что такое наномедицина?

"Наномедицина" – это слежение, исправление, конструирование и контроль над биологическими системами человека на молекулярном уровне, используя разработанные нанороботы и наноструктуры (Р. Фрейтас).

В настоящее время наномедицины пока не существует есть только проекты, воплощение которых в реальность и приведет к наномедицине. Через несколько лет, когда уже, наконец, будет создан первый наноробот знания, накопленные наномедициной воплотятся в жизнь. А тогда за считанные минуты вы избавитесь от вируса гриппа или избавитесь от раннего атеросклероза. Нанороботы смогут вернуть даже очень старого человека в то состояние в котором он был в молодости. От операции в органах мы перейдем на операции на молекулах и таким образом стане "бессмертными".

Перспективы развития

Ученые из штата Мичиган утверждают, что с помощью нанотехнологий можно будет встраивать микроскопические датчики в кровяные клетки человека, которые будут предупреждать о

признаках радиации или развития болезни. Так, в США по предложению NASA ведется разработка таких наносенсоров. Джейм Бейнер представляет себе "наноборьбу" с космическими излучениями так перед стартом астронавт, используя шприц для подкожных инъекций, вводят в кровоток прозрачную жидкость, насыщенную миллионами наночастиц на время полета он вставляет себе в ухо маленькое устройство (наподобие слухового аппарата). В течение полета это устройство будет использовать маленький лазер для поиска светящихся клеток. Это возможно, т.к. клетки проходят по капиллярам барабанной перепонки. По беспроводной связи информация клеток будет передаваться на главный компьютер космического корабля, а затем обрабатывается. В случае чего будут приниматься необходимые меры.

Все это может воплотиться в реальность примерно через 5–10 лет. А наночастицы ученые используют уже более 5 лет.

А сейчас, сенсоры тоньше человеческого волоса могут оказаться в 1000 раз чувствительнее стандартных анализов ДНК. Американские ученые, разработавшие эти наносенсоры полагают, что врачи смогут проводить целый спектр различных анализов, пользуясь лишь одной каплей крови. Одним из преимуществ этой системы является возможность моментально пересылать результаты анализа на карманный компьютер. Исследователи полагают что на разработку полностью функциональной модели наносенсора, которым смогут воспользоваться врачи в повседневной работе понадобиться около пяти лет.

С помощью нанотехнологий медицина сможет не только с любой болезнью, но и предотвращать ее появление, сможет помогать адаптации человека в космосе.

Могут ли влиять "устаревшие нанороботы" на человека?

Когда механизм завершит свою работу нанодоктора должны будут удалять нанороботов из организма человека. Поэтому опасность того что "устаревшие нанороботы", оставшиеся в теле человека будут работать неверно очень мала. Нанороботы должны будут спроектированы так, чтобы избежать сбоев в работе и уменьшить медицинский риск. А как нанороботы будут удалены из тела? Некоторые из них будут способны к самоуда-

лению из организма человека путем естественных каналов. Другие же будут спроектированы таким образом, чтобы их могли удалить медики. Процесс удаления будет зависеть от устройства данного наноробота.

Что может быть сделано неправильно в течение лечения нанороботами человека?

Считается, что первостепенной опасностью для пациента будет некомпетентность лечащего врача. Но ведь ошибки могут происходить и в неожиданных случаях. Одним из непредвиденных случаев может быть взаимодействие между роботами при их столкновении. Такие неисправности трудно будет определить. Иллюстрацией такого случая может служить работа двух видов нанороботов А и В в организме человека. Если наноробот А будет удалять последствия работы робота В, то это приведет к повторной работе А, и этот процесс будет продолжаться до бесконечности, то есть нанороботы будут исправлять работу друг друга. Чтобы таких ситуаций не возникало лечащий врач должен постоянно следить за работой нанороботов и в случае чего перепрограммировать их. Поэтому квалификация врача является очень важным фактором.

Как будет реагировать организм человека па нанороботы?

Как известно, наша иммунная система реагирует на чужеродные тела. Поэтому размер наноробота будет играть важную роль при этом, так же как шероховатость поверхности и подвижность устройства. Утверждается, что проблема биосовместимости не очень сложна. Выходом из этой проблемы будет создание роботов на основе алмазоидных материалов благодаря сильной поверхностной энергии и алмазоидной поверхности и сильной ее гладкости внешняя оболочка роботов будет химически инертной.

Нанотехнологии, применяемые в медицине в последнее время

Уже сейчас нанотехнологии применяются в медицине Основными областями ее применения являются технологии диаг-

ностики лекарственные аппараты, протезирование и имплантаты.

Ярким примером является открытие профессора Азиза. Людям, страдающим болезнью Паркинсона через два крошечных отверстия в черепе внедряют в мозг электроды, которые подключены к стимулятору. Примерно через неделю больному вживляют и сам-стимулятор в брюшную полость. Регулировать напряжение пациент может сам с помощью переключателя. С болью удается справиться уже в ВО % случаях.

У кого-то боль исчезает совсем, у кого-то затихает. Через метод глубокой стимуляции мозга прошло около четырех десятков людей.

Многие коллеги Азиза говорят, что этот метод не эффективен и может иметь негативные последствия. Профессор же убежден, что метод действенен. Ни то, ни другое сейчас не доказано. Мне кажется надо верить лишь сорока пациентам, которые избавились от невыносимой боли. И снова захотели жить. И, если уже 8 лет этот метод практикуется и не сказывается негативно на здоровье больных, почему бы тогда не расширить его применение.

Еще одним революционным открытием является биочип небольшая пластинка с нанесенными на нее в определенном порядке молекулами ДНК или белка, применяемые для биохимических анализов. Принцип работы биочипа прост. На пластиковую пластинку наносят определенные последовательности участков расщепленной ДНК. При анализе на чип помещают исследуемый материал. Если он содержит такую же гинетическую информацию, то они сцепливаются. Преимуществом биочипов являются большое количество биологических тестов со значительной экономией исследуемого материала реактивов, трудозатрат и время на проведение анализа.

Вывод

Перспективы развития нанотехнологий с помощью нанотехнологий очень велики. Применяемые в настоящее время нанотехнологии безвредны, примером являются наночипы и солнце-

защитная косметика на основе нанокристаллов. А такие технологии, как нанороботы и наносенсоры пока еще находятся в процессе разработки. Разговоры о том, что из-за бесконечного процесса самовоспроизводства нанороботов толстый слой "серой слизи" может покрыть всю Землю, – являются пока лишь теорией не подтвержденной никакими данными.

4.4. Роботы в образовании

Робот телеприсутствия VGO

В Российской Федерации насчитывается более 20 млн школьников, из них около 90 тыс. детей имеют нарушения физического статуса, что затрудняет их передвижение в пространстве и доступ к социально-образовательным ресурсам и еще около 500 тыс. имеют иные проблемы со здоровьем, которые не позволяют им регулярно посещать занятия в школах [62].

Детям, у которых имеются проблемы со здоровьем, крайне сложно добираться до образовательных учреждений. Дабы облегчить жизнь особенных детей и был разработан робот телеприсутствия Вебот (Webot).

Робот Вебот оснащен видеокамерой хорошего разрешения, встроенным микрофоном и динамиками. С их помощью можно общаться с другими людьми. В основании робота находится трехколесная тележка, которая обеспечивает хорошую маневренность и устойчивость робота. Нижнее камера и система парктроников в основании тележки позволяет аккуратно преодолевать всевозможные препятствия. "Голова" и "шея" робота могут вращаться во всех направлениях, также Вебот может следить взглядом за выбранным объектом.



Рис. 4.47. VGO

Управление роботом происходит через сервис в сети интернет. Доступ к роботу может быть, как публичным (роботы в музеях и прочих публичных местах), так и частным, т.е. запароленным. Высота робота 140 см, вес 26 кг. Продолжительность работы от батареи без подзарядки достигает 9 часов.

Робот Webot разрабатывается российской компанией ООО "Викрон". Компания работает над проектом создания робота Webot с 2012 года. Свою деятельность осуществляют при поддержке фонда "Сколково".

Характеристики робота (базовая конфигурация):

- Управление: Приложения для Windows, Mac OS и Linux;
- Зрение: 2 видеокамеры;
- Высота: 1,5 м;
- Вес: 16 кг;
- Время автономной работы: до 12 ч;
- Скорость движения: 0,4 м/с;

- Прямая видимость: 100 м, угол обзора робота: 360°, угол поворота головы робота по горизонтали – 300°, по вертикали – 90°;
- Высота преодолеваемого препятствия: 20 мм.

Цена такого робота составляет около 147 000 рублей или $2335.

Робот-учитель

Разработка французского бренда Aldebaran Robotics уже довольно давно используется в школах и все время модернизируется. У данного робота имеются модули эмоциональности, автономности, а так же поддержана функция разговора с человеком[63].

Сейчас на рынке широко представлена версия NAO H25 Evolution V5, она обладает следующими достоинствами:

- Улучшенное распознавание объектов и лиц;
- Улучшенное определение источников звука (4 микрофона);
- Улучшенное определение препятствий.

NAO Humanoid robot Aldebaran Robotics обладает системой зрения, которая позволяет ему фотографировать и отправлять изображения, снимать видео, различать цвета, находить и распознавать лица и в режиме реального времени передавать информацию на ПК или в сеть. NAO самостоятельно ориентируется в пространстве и выбирает оптимальный путь, обходя препятствия. Робот сам найдет базу зарядки, когда у него израсходуется энергия.

Одно из инновационных отличий Nao от многих других роботов – это то, что он запрограммирован на самообучение. Собирая данные об окружающей его среде и, обрабатывая их, робот выстраивает собственное представление о мире, и учится предсказывать последствия собственных действий.

Nao можно управлять через пользовательскую программу "Choregraphe", с программируемыми модулями C++, можно использовать языки программирования Python или Urbi. Nao поставляется с полной документацией и множеством примеров

кода программирования. Весь код поведения робота является открытым, чтобы можно было внести свои изменения. Благодаря межплатформенной разработке (Linux, Mac OS и Windows), можно создать новые поведения для Nao, через увеличивающийся массив языков включая C, C++, Urbi, и Python.

Характеристики:

- Управление со смартфона: нет;
- Рост: 58 см;
- Автономность: полная;
- Возможность сборки-разборки: нет;
- Вес: 4,3 кг;
- 60 минут активной работы, 90 мин в обычном режиме (Батарея 27,6 Вт/ч);
- Степени свободы: от 21 до 25;
- Процессор: Intel Atom 1,6 Ггц, второй – ARM9;
- Встроенная ОС: Linux;
- Совместимые ОС: Windows, Mac OS, Linux;
- Зрение: 2 камеры HD 1280x960;
- Связь: Ethernet, Wi-Fi;
- 2 гироскопа и 1 акселерометр, 8 датчиков давления на ступнях, 9 тактильных датчиков на голове и руках;
- Голосовой синтезатор для разговора с человеком;
- Распознавание и произношение речи на 19 языках мира (русский в том числе).

Цена такого робота составляет около 850 000 рублей от представителей в России и $9500 на официальном сайте производителя

Роботы для детей-аутистов

Гуманоид был разработан специалистами американского Университета Вандербильта, чтобы обучать детей с аутизмом, страдающих от дефицита социального взаимодействия.

Робот Russel – робот, способный отслеживать ответы и реакцию детей, а так же определяет, насколько успешен выбранный им подход для общения с детьми [64].

Робот KASPAR – робот, позволяющий детям с аутизмом развивать свои навыки социального взаимодействия.

Роботы все еще находятся в экспериментальной стадии и не представлены на рынке, однако они широко используются в исследованиях и уже работают с детьми-аутистами.

Известно, что ученые на создание робота KASPAR потратили 1300 евро.

Робот-учитель Saya

Одна из самых популярных японских разработок для образовательных целей. Гуманоид способен общаться на разных языках, читать из какого-либо источника, раздавать задания, выражать настроение и менять мимику [65].

Робот был создан японцем Хироси Кобаяси и первоначально позиционировался как робот-секретарь, затем выпустили робота Saya-сиделка, а недавно данного робота предложили в качестве учителя.

На данный момент, конечно же, при проведении экспериментальных уроков робот Saya управляется дистанционно реальными учителями, хотя, как утверждают создатели, он вполне способен на автономную работу.

В дальнейшем планируется выпуск и продажа данного робота, пока же подробных технических характеристик и цен нет.

Японцы верят, что данные роботы смогут решить проблему малого количества учителей в сельских школах, а также сиделок в престарелых домах.

4.5. Кухонные роботы

Сейчас не только предприятия общественного питания стремятся к многофункциональности оборудования. Многие хозяйки желают, чтобы на кухне стоял аппарат, позволяющий создать множество блюд. И нужно сказать, что производители техники учли этот спрос, создав мультиварку, именуемую кухонным роботом [19].

Это устройство прекрасно совмещает в себе все последние достижения технологий. Аппарат вмещает максимум возможно-

стей. Иногда кухонный робот ошибочно называют микроволновой печью, хотя это далеко не так. Дело в том, что при использовании этого устройства отсутствует опасность электромагнитного облучения продуктов либо утечка газа. Все безопасно и удобно.



Рис. 4.48. Кухонный робот

Особенности. Благодаря наличию в конструкции кухонного робота инфракрасных электрических нагревателей можно готовить продукты, которые сохранят при этом все минеральные вещества и витамины. Это, безусловно, важный аспект, который следует учитывать.

Также за счет конструкции существенно снижается расход электроэнергии – до 40%. Следовательно, используя кухонный робот, хозяйки еще и экономят. Ведь, помимо этого, растительного масла для приготовления блюд потребуется меньше, чем обычно.

Есть и еще одна важная особенность такого аппарата: конструкция верхней части устройства не пропускает запах наружу, поэтому при приготовлении блюд смешение запахов будет невозможным.



Рис. 4.49. Кухонный робот с инфракрасными электрическими нагревателями

Важно также то, что с таким кухонным агрегатом может справиться даже ребенок, нужно только правильно задать режим, загрузить все ингредиенты.

Виды и применение. Условно все кухонные роботы можно разделить на две большие группы: профессиональные и для домашнего использования. Чем они отличают друг от друга? В первую очередь возможностями и мощностью. Профессиональные модели обладают большей функциональностью и выносливостью, поэтому могут работать непрерывно продолжительное время. Такие агрегаты удобно использовать в ресторанах, кафе, столовых. Благодаря своим возможностям, эргономичности и экономичности такие устройства становятся незаменимыми на производствах общественного питания.

Кухонные роботы для домашнего использования, хотя и имеют более низкие показатели, отличаются простотой управления. Такие устройства имеют интуитивно понятный интерфейс, поэтому разобраться в том, как пользоваться, можно и без инструкции. Хотя, конечно, прочитать ее все же рекомендуется, например, из соображений безопасности.



Рис. 4.50. Кухонный робот



Рис. 4.51. Набор кухонного робота

Без этого аспекта невозможно точно определить для себя, хороший ли это продукт, а также сделать выбор конкретной модели. И тут можно отметить, что кухонные роботы, как вид, имеют

в подавляющем большинстве положительные отзывы. Отрицательные касаются каких-то определенных неудачных моделей.

В основном же потребители отмечают большую производительность и функциональность кухонных роботов. Благодаря чему можно готовить разнообразные блюда, причем в достаточно большом количестве. Нужна лишь фантазия хозяйки и необходимые продукты. Останется загрузить все в устройство, задать программу и получить через определенное время результат.

Современные потребности человека вынуждают искать решения, которые бы были максимально функциональными и эргономичными. Поэтому кухонный робот – закономерный выбор. Устройство позволяет избежать нагромождения различных приборов на кухонном столе, быстро и качественно приготовить любое блюдо, сэкономить время, силы и средства.

Кухонный робот Mycook

Кухонный робот Mycook использует индукционный нагрев. Это наиболее безопасный и к тому же экономичный способ нагревания. В отличие от остальных нагревательных приборов вроде газовой или электрической плиты, индукционный нагрев гораздо быстрее, а коэффициент полезного действия его значительно выше [20].

Использующийся в роботе Mycook нагрев, считается безопасным, экологичным и надежным. Он не оказывает негативного влияния ни на организм человека, ни на качество продуктов в процессе готовки. Благодаря индукции нагревается не сама пища, как это происходит в микроволновой печи, а стенки металлического кувшина, в котором готовится блюдо. Все элементы кухонного робота, контактирующие с продуктами питания, изготавливаются из высококачественной нержавеющей стали, которая используется в производстве посуды.

Технические характеристики:

- кувшин общим объемом 3 л и полезным 2 л;
- чаша парокукера 3 л;
- нагрев мощностью 1000 Вт;
- двигатель мощностью 600 Вт;
- интеллектуальные скоростные режимы;

- 10-ти температурные режимы;
- таймер.

Прибор выполнен из нержавеющей пищевой стали и имеет вес 7,5 кг. Mycook отлично подойдет не только для домашнего использования, но и для офиса, а также при выезде на природу, в походе, на даче и т.д. Для его работы потребуется немного места и розетка 220В. В комплекте с ним имеется удобная сумка-переноска.

Кухонный робот Mycook – это современное устройство для быстрого приготовления полезной для здоровья пищи. Прибор способен заменить собой до тридцати различных кухонных аппаратов и посуды. Он мобилен и прост в использовании, с управлением справится даже ребенок. Широкий выбор режимов готовки позволят создавать настоящие кулинарные шедевры, которые порадуют не только членов семьи, но и их гостей.

Двурукий робот-повар Moley

Робот-шеф-повар, управляемый со смартфона, способен готовить вкусную еду по рецептам из Интернета. Звучит как научная фантастика, но это уже реальность. Такой робот поступит в массовую продажу уже в 2017 году.



Рис. 4.52. Moley

Два роботизированных манипулятора подвешены над кухонной плитой, духовкой, рабочей поверхностью и раковиной. По ловкости роботизированные руки не уступают человеческим. Робот работает так же быстро, как профессиональный шеф-повар, покорно подчиняясь командам с iPhone.

Машина, которую разработала компания Moley Robotics, уже приглянулась агентству NASA. Робот умеет обращаться практически со всей кухонной утварью и техникой, искусно копируя движения человека. Например, приготовление супа-пюре из морепродуктов у него занимает меньше 30 минут.

24 соединения и 20 моторов позволили роботу с точностью повторить движения Тима Андерсона, победителя британского кулинарного шоу MasterChef 2011. Движения повара были записаны заранее на камеру и загружены в память машины.

Moley Robotics видит будущее, в котором знаменитые шеф-повара продают свои рецепты владельцам кухонных роботов. Однако профессиональные повара говорят, что робот ограничен в движениях и не может, например, готовить суши.

Приложение для смартфона позволяет управлять роботом дистанционно. По словам Moley Robotics, в потребительской версии системы будет встроенный холодильник и кладовка. В будущем манипуляторы будут складывать всю грязную посуду не в мойку, а в посудомоечную машину, которой планируется укомплектовать систему.

Moley также заботится о безопасности тех, кто будет находиться рядом с роботом, имеющим дело с потенциально опасными кухонными принадлежностями. Следующим шагом станет установка защитного стекла и противопожарной системы, что повысит безопасность использования робота в одном помещении с детьми или, когда никого нет дома. Эксперты не исключают, что в будущем робот Moley может стать универсальным помощником во всех домашних делах.



Рис. 4.53. Moley

4.6. Развлекательные роботы

Развитие робототехники не прошло стороной развлекательную сферу деятельности людей. Начиная с игрушек, заканчивая роботами-андроидами. Появились игрушки, способные заменить живых питомцев, роботы стали играть в театре, роботы-музыканты способны импровизировать и подстраиваться под других музыкантов. Роботы получили широкое использование в развлекательной сфере прежде всего из-за популяризации робототехники.

Роботы-андроиды – это роботы, претендующие на высокое сходство с человеком. В 2010-х годах их пробуют использовать, как актеров в кино, ведущих на ТВ, исполнителей песен, танцоров, в музыкальных группах, театральных актеров и т.п. [21].

Андроиды в индустрии развлечений

Робот Теспиан – это уникальный робот-гуманоид, который привлечет внимание вашего клиента, вне зависимости от пола или возраста [22].

Робот обладает очень высоким уровнем интеллекта, который помогает ему напрямую взаимодействовать с каждым посетителем вашей вечеринки или открытого мероприятия. Поддержание разговора, активная жестикуляция и мимика – все это не только впечатляет, но и поднимает настроение, ведь подобного собеседника встретишь далеко не каждый день.

Центральный процессор устройства отвечает за создание специальных сценариев, которые определяют поведение Теспиана в зависимости от той или иной ситуации. Можно сказать, что он подстраивается под зрителя, тем самым производя еще более сильное впечатление, которое не купишь в магазине и не встретишь в обычной жизни. С таким собеседником точно захочется сделать селфи, записать твич или поделиться снимком с друзьями в социальных сетях.

Сам Теспиан оснащен световыми и звуковыми датчиками по всему телу, что моментально превращает его в центральную фигуру любого мероприятия. Он переливается, словно новогодняя елка, воспроизводит разнообразные звуки, что невольно вызывает улыбку, и не позволяет оторвать глаз от столь талантливого артиста. Песни и танцы с роботом – это что-то новенькое в жизни людей, хотя, казалось бы, нас уже ничем не удивишь.

Уникальной особенностью устройства является его эмоциональность. В понимании человека, чаще всего, роботы представляются, как просто машины для беспрекословного выполнения задания. Теспиан способен полностью перевернуть человеческое представление о роботах, ведь его лицо практически полностью подвижно, интонация голоса меняется, а жесты едва можно отличить от человеческих!

Сам робот высотой в средний человеческий рост (175 см), благодаря чему каждый желающий сможет комфортно пообщаться с ним, как с давним другом. Самое интересное, что модель способна пародировать человеческие движения, смеша тем самым своего собеседника и зрителей в целом. Поэтому он уникален для торжеств, корпоративов и детских праздников! А еще он имеет 25 уровней свободы, благодаря которым его поведение максимально приближается к человеческому. Равнодушных точно не останется!

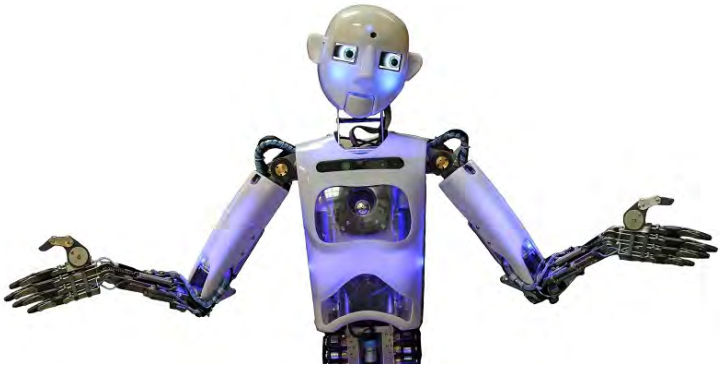


Рис. 4.54. Теспиан

На борту устройства расположен удобный сенсорный дисплей, с его помощью отдаются все команды. Даже самый неопытный сможет без труда разобраться с архитектурой управления Теспиана, задавая ему определенные команды, которые можно произвести, установив устройство на специальную напольную базу.

Распознавание человеческого голоса и движений осуществляется посредством нескольких камер и инфракрасных датчиков, которые помогают считывать абсолютно все звуки и жестикуляцию живого собеседника. Преобразование полученных команд в центральный процессор происходит моментально, из-за чего робот незамедлительно реагирует, не заставляет человека ждать. Так же быстро робот воспроизводит и сложные трюки, которые как раз нацелены на удивление публики, на ее развлечение.

Сферы использования Теспиана ограничиваются исключительно фантазией пользователя. Он универсален и способен развлечь ребят в детских центрах, провести презентацию, а также просто и задорно развеселить публику в процессе проведения встреч и праздников.

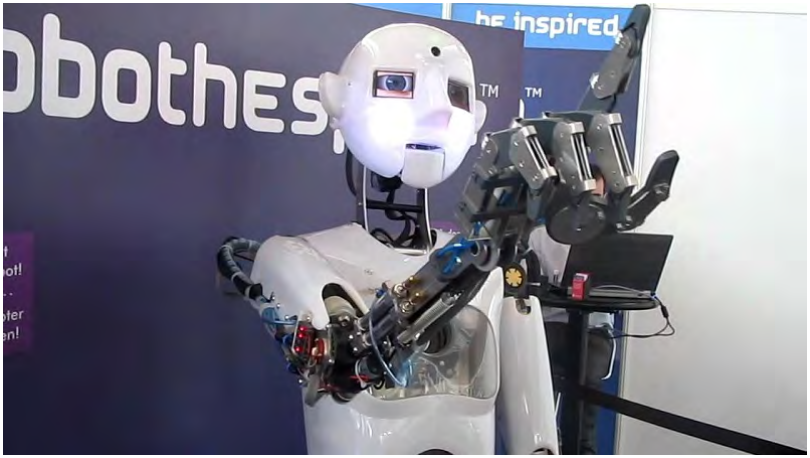


Рис. 4.55. Теспиан

Характеристики:

- Страна производства: Великобритания
- Анимированные глаза, 2 LCD экрана 240 × 320 QVGA 2.2
- Анимированная нижняя челюсть;
- Вмонтированная в голову камера;
- Количество степеней свободы: 25;
- Многоцветная эмоционально зависимая LED подсветка лица и корпуса;
- Возможность автономного общения с клиентом;
- Возможность дистанционного управления оператором со специального терминала;
- Встроенные камеры и инфракрасные датчики распознавания поз (MS Kinect);
- Встроенная акустическая система;
- Закрепляемые к полу ступни ног;
- Несущий металлический каркас;
- Декоративная пластиковая облицовка;
- Бортовой PC – Core i3-4GB-120GB под управлением Ubuntu Linux OS;
- Напряжение бортовой сети 24V, терминала управления 12V, 19V;

- Напряжение питания 220V;
- Габариты (в состоянии покоя) ВхШхГ: 1750 × 600 × 410 мм;
- Вес робота: 33 кг, вес терминала управления 30 кг;
- Ширина разведения рук: 1500 мм;
- Высота терминала управления: 1006 мм.

Аниматронные роботы в индустрии развлечений

Аниматронными называют роботов, построенных с использованием робототехнических технологий и устройств для эмуляции человека или животного, в том числе гигантских размеров, например, динозавров. Такие роботы могут использоваться для увеселения публики в общественных местах, например, в парках развлечения или тематических парках. Их сооружают для съемки кинофильмов, например, как например для съемок кинофильма "Мир Юрского периода" (Парк Юрского периода – 4, 2015). Возможно использование аниматронных роботов в музеях.

Tradinno – роботизированный дракон, построенный компанией Zollner Elektronik AG. Этот робот, цена которого, вероятно, не одна сотня тысяч долларов, был построен для немецкой традиционной забавы "Drachenstich". Длина робота – более 15 метров. Весит он 11 тонн.



Рис. 4.56. Tradinno

Оболочка робота сделана из полиуретана, внутри у него 984 гидравлических передачи, пара сотен метров трубопроводов и несколько тысяч метров проводки. Плюс ко всему, робота оснастили 238 сенсорами, 65 осями, 272 гидравлических клапана. В общем-то, выглядит этот робот почти так, как выглядит детская игрушка-динозавр. Он умеет двигаться, ходить, выгибать спину, поднимать крылья, мотать головой, мигать и дышать огнем (да, детские игрушки огнем не дышат). Только робот во много раз больше, чем игрушка.

Робомехи в индустрии развлечений

Робомехи – вид экзоскелета, как правило, отличающийся большими или гигантскими размерами. Оператор может управлять действиями такого "экзоскелета", находясь внутри него, например, в туловище или даже в голове. Часто возможно также телеуправление.

Робот Титан – это сценическое название экзо-скелета, созданного британской компанией Cyberstein Robots Ltd. в 2004 году по дизайну Ника Филдинга, бывшего автомеханика из курортного города Ньюквей (Великобритания, графство Корнуолл), восемь лет мечтавшего создать своего робота. Весит сам пластиковый костюм около 60 кг, плюс еще порядка 300 кг весит тележка, на которой его везут, и дополнительное оборудование [23].



Рис. 4.57. Робот Титан

Костюм частично управляется движениями оператора, находящегося внутри, а частично – удаленной командой, находящейся за сценой.

Ноги оператора внутри костюма находятся на некотором расстоянии от земли, по аналогии с обувью на высокой платформе. Колени оператора совпадают с "коленями" костюма. Все движения ног костюма обеспечиваются полностью оператором без использования сервоприводов, именно за счет этого обеспечивается точность и плавность движений.

Грудь и голова оператора находятся в "груди" робота. Также в грудной части костюма легко заметить затемненное стекло, через которое оператор наблюдает за происходящим вокруг. Плечи, голова и руки костюма находятся выше головы оператора. Верхняя часть костюма управляется с помощью панели управления внутри костюма. Большинство последовательностей действий и звуков записаны заранее и выбираются оператором простым выбором нужной команды.

В костюме также есть устройство, искажающее голос оператора, с помощью которого он может говорить со зрителями во время представления.

В дополнение к панели управления внутри костюма существует возможность управлять верхней частью костюма удаленно из-за сцены. Это сделано для предотвращения несчастных случаев, когда оператор костюма не может видеть, например, ребенка, подбежавшего сзади. Удаленное управление имеет более высокий приоритет.

Всегда во время представления рядом с роботом присутствует команда людей в черных костюмах. Их роль – не столько добавить загадочности к представлению, сколько предотвратить возможность исследования костюма зрителями с близкого расстояния, так как существует вероятность, что это может привести к открытию костюма и рассекречиванию оператора внутри.

Еще примеры робомехов:

- *Kuratas, Suidobashi Heavy Industri*:
  - оснащен системой компьютерного зрения с поддержкой технологии визуального слежения;
  - вес 4,5 т.



Рис. 4.58. Kuratas

- *Mark-2, MegaBots:*



Рис. 4.59. Mark-2

- *Prosthesis:*

Робомех, построенный "на основе бионических принципов", представлен на CES2017. Пилот помещается в теле робота и

управляет им своими движениями (используются специальные перчатки и "обувь"). Движения человека непосредственно управляют движениями механизмов робомеха – без оцифровки движений и их преобразования в командный код для исполнительных механизмов. Так что Prosthesis – это еще и своего рода экзоскелет. Удивительна скорость, которую способен развивать этот робот – в районе 32 км/ч. Как ожидается, данный мех будет использоваться для развлекательных гонок, которые возможно будут проводиться в пустыне Невада.



Рис. 4.60. Prosthesis

- *Hajime 43:*

В 2016 году был создан и показан 4-метровый прототип робомеха, который в окончательном варианте будет ростом 18 метров. Вес – 300 кг. Управление роботом Hajime 43 организовано по принципу мастер-раб. Внутри робота, там, где сидит пилот, перед ним находится уменьшенная копия робота. Оператор руками перемещает органы микро-робота – поворачивает его голову, поднимает руку, и большой робот повторяет заданные движения – поворачивает свою голову, поднимает руку.

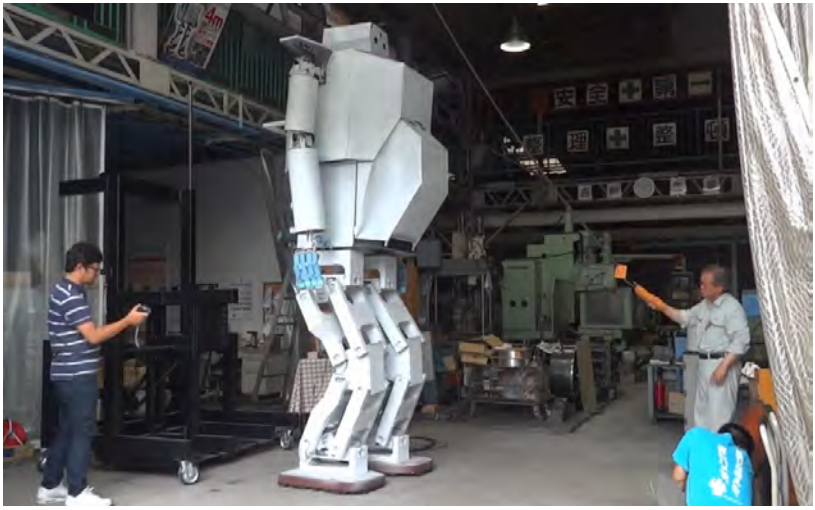


Рис. 4.61. Hajime 43

Роботы-игрушки

Гигантский класс устройств, начиная от игрушек внешне имитирующих роботов и вплоть до игрушек с высокой степенью роботизации. Такие устройства предназначены для детей самого разного возраста, с 2 лет и до XX лет. Сюда можно отнести также робототехнические конструкторы.

Aibo – серия собак-роботов, разработанная компанией Sony [24].

Разработка Aibo был начата в 1993 году в качестве исследовательского проекта, и массовое производство изначально не планировалось. Первая модель Aibo была выпущена в 1999 году.

26 января 2006 года Sony анонсировала, что прекращает выпуск Aibo и некоторых других продуктов с целью сделать компанию прибыльней. Также она прекратила разработку робота QRIO. Гарантийная поддержка покупателей приостанавливалась постепенно, последняя модель ERS-7M3 была снята с поддержки в марте 2013 года.

С июля 2014 года Sony прекратила выпуск запасных частей для продуктов Aibo и не предоставляет никакой поддержки пользователям в ремонте Aibo.

31 октября 2017 года Sony анонсировала новую версию Aibo ERS-1000, которая появится в продаже с 11 января 2018 года.

Aibo умеет ходить, "видеть" окружающие его предметы с помощью видеокамеры и инфракрасных датчиков расстояния, распознавать команды и лица. Робот является полностью автономным: он может учиться и развиваться, основываясь на побуждениях своего хозяина, обстановки, или другого AIBO. Несмотря на это, он поддается настройкам с помощью специальных программ. Существует программное обеспечение, имитирующее "взрослую собаку", которая сразу использует все свои функции, и программное обеспечение, имитирующее "щенка", который раскрывает свои возможности постепенно.



Рис. 4.62. Aibo

"Настроение" Aibo может меняться в зависимости от окружающей обстановки и влиять на поведение. Инстинкты позволяют Aibo двигаться, играть со своими игрушками, удовлетворять свое любопытство, играть и общаться с хозяином, само-

стоятельно подзаряжаться и просыпаться после сна. Разработчики утверждают, что у AIBO есть симулирование шести эмоций: счастья, грусти, страха, антипатии, удивления и гнева.

Автором дизайна Aibo, который завоевал множество наград, является японский художник-иллюстратор Хадзимэ Сораяма.

Робот имеет 20 степеней свободы. Также он оснащен различными датчиками (температуры, расстояния, ускорения, сенсорными датчиками и датчиком вибрации), видеокамерой, микрофонами и громкоговорителем. Aibo построен на интерфейсе OPEN-R, внутри находится 64-разрядный RISC процессор, управляемый ОСРВ Aperios. В качестве запоминающего устройства используется Memory Stick.

В настоящее время разработка и производство AIBO остановлено.

На чемпионате среди роботов RoboCup между перепрограммированными AIBO устраивались футбольные матчи. Также роботы AIBO использовались в эксперименте, результатом которого стала научная публикация "Социальное поведение собак при встрече с собакоподобным роботом AIBO в нейтральной ситуации и во время кормления".

ALPHA 2 – интерактивный робот-гуманоид для семьи.

Несмотря на довольно компактные габариты – 43 см в высоту и 23 см в ширину при весе 2,3 кг – аппаратная часть вмещает 20 сервоприводов, позволяющих воспроизводить основные движения человека. Здесь же шестиядерный процессор Samsung Exynos 5260 и внутренняя память на 2 ГБ.

Система визуализации состоит из 8-мегапиксельной камеры и процессора. В головной части робота также находится интеллектуальный речевой блок с функцией вербального чата, система распознавания звуков и синхронного перевода.

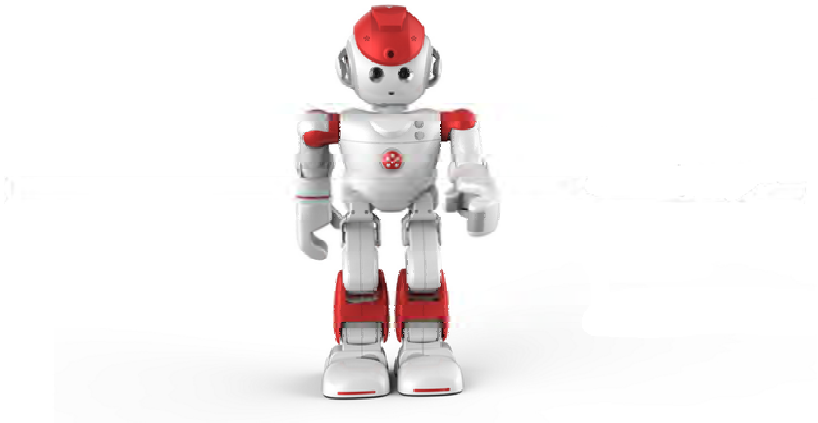


Рис. 4.63. ALPHA 2

Характеристики:

- Размеры: 432 × 229 мм
- Вес: 2,27 кг
- Число степеней свободы: 20
- Материал: алюминиевый сплав, поликарбонат и ABS пластик
- Динамик: 3Вт стереодинамики
- Процессор: Samsung Exynos 5260, шестиядерный
- ОЗУ: 2 ГБ
- Флеш-память: 16 ГБ
- ОС: Android 4.
- Батарея: 11.1В, 2150 мАч
- Управление: программирование пользователем, интерфейс для использования мобильного приложения на смарфтоне или планшете, голосовое управление.
- Световые эффекты: RGB светодиоды в глазах, светодиодная подсветка в ушах, подсветка в руках, цветная подсветка корпуса

- Загрузка: USB или Wi-Fi, защита от перегрева, защита от коротких замыканий, трехосевой датчик ускорений, сенсоры прикосновений, сонар (датчик расстояния)
- Связь: Wi-Fi
- Зарядное устройство: 14 В, 3.5 А.

Интерактивная система состоит из нескольких датчиков, позволяющих задействовать существующие каналы общения человека и компьютера:

- инфракрасный датчик
- ультразвуковой датчик
- датчик распознавания жестов
- акселерометр

Робот поставляется с открытым интерфейсом и поддержкой VAPP приложений для разработчиков собственного оригинального софта.

4.7. Анализ отрасли информационно-развлекательных роботов



Рис. 4.64. Доля мирового производства роботов

Из рисунка 4.64 следует, что самым динамично развивающимся рынком роботов эксперты считают Юго-Восточную Азию.

Диаграмма так же демонстрирует низкий уровень развития робототехнической отрасли в России и наличие свободной ниши на рынке РФ.



Рис. 4.65. Доля мирового производства роботов (по видам)

Низкая доля производства информационно – развлекательных роботов объясняется в первую очередь отсутствием четкого понимания практического применения роботов.

Доля России в мировом производстве по видам:

- промышленных роботов – 8%
- военных роботов – 15%
- бытовые роботы, информационно-развлекательные, андроидные, экзоскелет – 1%

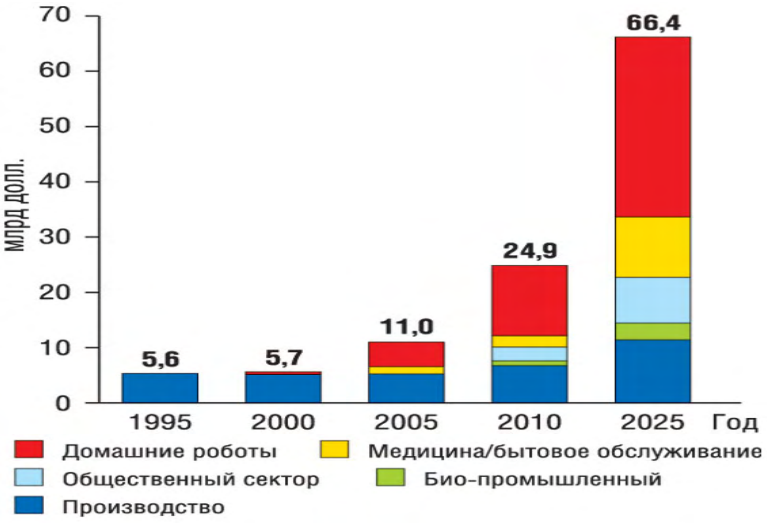


Рис. 4.66. Прогноз развития рынка робототехники по отраслям в экономике

Анализ диаграммы показал, то емкость рынка в большей степени возрастет в сфере домашнего применения роботов, на втором месте – медицина и на 3-м месте – информационно-развлекательная сфере.

Литература

1. Justin J. Crom BASIC Face-off // PC Tech Journal. – 1987, September. – P. 136. – (Пер. В.Н. Лопухов).
2. Современные методы исследования материалов и нанотехнологий / Е.Н. Богомолов, М.А. Бубенчиков, Д.С. Жданов и др. : учеб. пособие (лабораторный практикум) ; под ред. В.И. Сырямкина. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2013. – 412 с.
3. Ватолин Д.С. Алгоритмы сжатия изображений : метод. пособие. – М., 1999.
4. Ватолин Д.С. Применение фракталов в машинной графике // ComputerWorld-Россия. – 1995. – № 15, 12 дек.
5. Воротников С.А. Информационные устройства робототехнических систем : учеб. пособие. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 384 с.
6. Гедзберг Ю.М. Охранное телевидение. – М. : Горячая линия – Телеком, 2005. – 312 с.
7. Глушков В.М., Капитанова Ю.В., Мищенко А.Т. Логическое проектирование дискретных устройств. – Киев : Наук. думка, 1987. – 264 с.
8. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. – 2-е изд. – М. : Металлургия, 1970. – 366 с.
9. Информационная надежность, контроль и диагностика навигационных систем / С.П. Дмитриев и др. – СПб. : Изд-во ГНЦ РФ ЦНИИ "Электроприбор", 2004.
10. Методы анализа и компенсации движения в динамических изображениях / Ю.Б. Зубарев, В.П. Дворкович, В.В. Нечепаев и др. // Электросвязь. – 1998. – № 11. – С. 15–21.
11. Изоткина Н.Ю., Осипов Ю.М., Сырямкин В.И. Инновационные технологии управления в мехатронике и робототех-

нике : учеб. пособие / под общ. ред. Ю.М. Осипова. – Томск : Изд. Дом ТГУ, 2015. – 220 с.
12. Кориков А.М., Сырямкин В.И., Титов В.С. Корреляционные системы роботов. – Томск : Радио и связь, 1990. – 264 с.
13. Дистанционно-управляемые роботы и манипуляторы / В.И. Кулешов и др. – М. : Машиностроение, 1986. – 328 с.
14. Магауенов Р.Г. Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения. – М. : Горячая Линия – Телеком, 2004. – 368 с.
15. Малюк А.А. Информационная безопасность: концептуальные и методологические основы защиты информации : учеб. пособие. – М. : Горячая линия – Телеком, 2004. – 280 с.
16. Робототехника [Электронный ресурс]. – URL: https://indicator.ru/tags/robototehnika.
17. Авиация: Энциклопедия / Гл. ред. Г.П. Свищёв. – М. : Большая Российская энциклопедия, 1994. – С. 108. – (736 с.).
18. Грингард С. Интернет вещей: Будущее уже здесь = The Internet of Things. – М. : Альпина Паблишер, 2016. – 188 с.
19. Беспилотный летательный аппарат [Элекронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспилотный_летательный_аппарат.
20. Википедия. Групповая робототехника [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Групповая_робототехника.
21. Карпов В.Э. Коллективное поведение роботов. Желаемое и действительное // Современная мехатроника. Сборник научных трудов Всероссийской научной школы (г. Орехово-Зуево, 22-23 сентября 2011) – Орехово-Зуево, 2011. – С 35–51.
22. Ерофеева В.А, Иванский Ю.В., Кияев В.И. Управление роем динамических объектов на базе мультиагентного подхода // Компьютерные системы в образовании. – СПб., 2015. – № 6. – С. 34–42.
23. Компьютерра. Swarmanoid – очень самостоятельный составной робот [Электронный ресурс]. – URL:

http://www.computerra.ru/17172/swarmanoid-ochen-samostoyatelnyiy-sostavnoy-r.

24. Иванов. Д.Я. Использование принципов роевого интеллекта для управления целенаправленным поведением массово-применяемых микророботов в экстремальных условиях // Известия высших учебных заведений. – 2011. – № 9. – С. 70–78.
25. Иванов Д.Я. Методы роевого интеллекта для управления группами малоразмерных беспилотных летательных аппаратов // Известия ЮФУ. Технические науки. – Таганрог, 2011. – № 3(116). – С. 221–229.
26. Inverse.com. Georgia Tech Just Solved the Problem with "Drone Swarms" [Электронный ресурс]. – URL: https://www.inverse.com/article/31582-drones-swarm-blimps-facial-recognition.
27. TechCrunch.com. MIT creates a control algorithm for drone swarms [Электронный ресурс]. – URL: https://techcrunch.com/2016/04/22/mit-creates-a-control-algorithm-for-drone-swarms.
28. Карпова И.П. Псевдоаналоговая коммуникация в группе роботов // Мехатроника. Автоматизация. Управление. – 2016. – № 2. – С. 94–101.
29. Википедия. ZigBee [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ZigBee.
30. Карпенко А.П. Робототехника и системы автоматизированного проектирования : учебное пособие. – М., 2014. – 73 с.
31. Преимущества использования беспилотников [Электронный ресурс]. – URL: http://robotrends.ru/robopedia/preimushestva-ispolzovaniya-bespilotnikov.
32. Беспилотный аппарат Zephyr [Электронный ресурс]. – URL: http://bp-la.ru/bespilotnyj-apparat-zephyr.
33. Системы управления роботами типа "Рой" [Электронный ресурс]. – URL:http://studbooks.net/2253035/informatika/sistemy_upravleniya_robotami_tipa_roy.
34. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М. : Физматлит, 2009. – 280 с.

35. Arduino UNO [Электронный ресурс]. – URL: https://goo.gl/nzMvNk.
36. NEO-7 series [Электронный ресурс]. – URL: https://goo.gl/AWqyQX.
37. Торгашов Л.А., Гуцул В.И., Романенко С.В. Разработка и создание робототехнической платформы повышенной проходимости, как элемент обеспечения ликвидации чрезвычайных ситуаций // Вестник науки Сибири. – 2013. – № 4 (10). – С. 104–108.
38. Кухонный робот: виды и применение [Электронный ресурс]. – URL: http://vyborkuhni.ru/kuhonnyj-robot.
39. Робот Mycook – незаменимый помощник на современной кухне [Электронный ресурс]. – URL: http://kuhniclub.ru/tehnika/kuhonnyj-robot.html.
40. Развлечения и роботы [Электронный ресурс]. – URL: http://robotrends.ru/robopedia/razvlecheniya-i-roboty.
41. Робот-актер Thespian [Электронный ресурс]. – URL: https://nanojam.ru/products/arenda-robot-akter-thespian.
42. Робот Титан [Электронный ресурс]. – URL: https://goo.gl/RHuicR.
43. AIBO [Электронный ресурс]. – URL: https://goo.gl/86XYXR.
44. Техническое зрение роботов / В.И. Мошин и др. – М. : Машиностроение, 1990. – 272 с.
45. Нейронаука для медицины и психологии: 12-й Международный междисциплинарный конгресс. Судак, Крым, Россия, 5–11 июня 2016 г. Труды конгресса. – М. : МАКС Пресс, 2016. – 494 с.
46. Норенков И.П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем // Современные методы исследования материалов и нанотехнологий / В.И. Сырямкин и др. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2013. – 410 с.
47. Сырямкин В.И., Титов В.С. и др. Системы технического зрения : справочник / под ред. В.И. Сырямкина, В.С. Титова. – Томск : РАСКО, 1992. – 367 с.
48. Тимофеев В.А. Роботы и искусственный интеллект. – М. : Наука, 1978. – 192 с.

49. Титов В.С., Сырямкин В.И., Ширабакина Т.А. Технико-экономический анализ разработки средств визуального контроля : учеб. пособие. – Курск : Курск. гос. техн. ун-т, 1995. – 98 с.
50. Шидловский С.В. Автоматическое управление. Перестраиваемые структуры. – Томск, 2006. – 288 с.
51. Сырямкин В.И. информационные устройства и системы в робототехнике и мехатронике : учебное пособие. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2016. – 524 с. – (Серия: Интеллектуальные технические системы).
52. Интеллектуальные робототехнические системы : учебное пособие / А.С. Бондарчук, В.С. Боровик, В.И. Гуцул и др. ; под ред. В.И. Сырямкина. – Томск, 2017. – 256 с. – (Серия: Интеллектуальные технические системы).
53. Нейро-нечеткие методы в интеллектуальных системах обработки и анализа информации / Т.В. Абрамова, Е.В. Ваганова, В.И. Сырямкин и др. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2014. – 442 с.
54. "Платформа-М": Роботизированный комплекс широких возможностей, Григорий Будлянский. 06.10.2014 г. "ОРУЖИЕ РОССИИ" Arms-expo [Электронный ресурс]. – URL: http://www.arms-expo.ru/news/perspektivnye_razrabotki/platforma_m_robotizirovannyy_kompleks_shirokikh_vozmozhnostey.
55. Свои "Хищники" [Электронный ресурс]. – URL: https://lenta.ru/articles/2011/10/12/uavs.
56. Боевой роботизированный комплекс "Арго" [Электронный ресурс]. – URL: http://warsonline.info/bronetechnika/boevoy-robotizirovanniy-kompleks-argo.html.
57. Teurer Eingriff mit Dr. Robo [Электронный ресурс]. – URL: http://www.spiegel.de/gesundheit/diagnose/chirurgie-kritik-an-operations-roboter-davinci-wegen-komplikationen-a-890261.html.
58. Железный хирург // Популярная механика. – 2010. – № 5. – С. 14.

59. The kindness of strangers [Электронный ресурс]. – URL: https://www.economist.com/babbage/2012/01/18/the-kindness-of-strangers.
60. Японский робот-хирург [Электронный ресурс]. – URL: http://www.prorobot.ru/medrobots/jap_r_hir.php.
61. Медицинские роботы [Электронный ресурс]. – URL: http://www.aiportal.ru/news/medical-robots.html.
62. CyberKnife против онкологии, опухоли, рака! [Электронный ресурс]. – URL: http://www.cliniccyberknife.ru/kiber-nozh-pribor-apparat-sistema-radiohirurgii-printsyp-kak-rabotaet-cyberknife.html.
63. Робот онколог-диагност IBM Watson [Электронный ресурс]. – URL: https://robroy.ru/robot-onkolog-diagnost-ibm-watson.html.
64. Автономный робот STAR удалил опухоль лучше хирургов [Электронный ресурс]. – URL: https://hightech.fm/2017/10/16/robot-flesh-cutter.
65. VGo-робот, который ходит в школу вместо больного мальчика [Электронный ресурс]. – URL: http://supercoolpics.com/robot-shkolnik-iz-uest-seneki-11-foto.
66. Роботы-учителя и история в VR. 5 технологий, которые изменят мир образования [Электронный ресурс]. – URL: https://hi-tech.mail.ru/review/pyat-tekhnologij-sposobnyh-izmenit-mir-obrazovaniya.
67. Meet Russell, A Robot That Helps Autistic Children Develop Social Skills [Электронный ресурс]. – URL: https://www.fastcompany.com/3022115/meet-russell-a-robot-that-helps-autistic-children-develop-social-skills.
68. Первый в мире робот учитель? [Электронный ресурс]. – URL: http://roboting.ru/618-pervyjj-v-mire-robot-uchitel.html.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

БОРОВИК Василий Сергеевич,
ГУЦУЛ Владимир Иванович,
КЛЕСТОВ Семен Александрович,
ФИРСОВ Иван Сергеевич,
ПЫХТЫРЕВ Вячеслав Сергеевич,
ШАТРАВИН Владислав Владимирович,
СЫРЯМКИН Владимир Иванович,
ШИДЛОВСКИЙ Станислав Викторович,
ШАШЕВ Дмитрий Вадимович,
НГУЕН Кыонг Тхе,
УГРЮМОВ Дмитрий Александрович,
СЫРЯМКИН Максим Владимирович

КОЛЛЕКТИВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РОБОТОВ. СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Под редакцией докт. техн. наук, профессора
В.И. Сырямкина

Серия: “Интеллектуальные технические системы”
(подсерия: “Когнитивная робототехника”)

Дизайн – В.А. Сергеев
Верстка, техническое редактирование – Ю.А. Алексеева
Редактирование – С.В. Алексеев

Издательство «STT»
(Scientific & Technical Translations)
Россия, 634028, г. Томск, проспект Ленина, 15Б-1
Тел.: (3822) 421-455
E-mail: stt@sttonline.com

Scientific & Technical Translations
STT
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Формат 84x108/32. Усл. п. л. 4,5. Уч.-изд. л. 3,9.
Бумага SvetoCopy. Гарнитура Newton7C. Печать цифровая.
Тираж 300 экз. Заказ № 617.