

21 мая 2009 г .



Дорожная карта для робототехники и США От Интернета к робототехнике

Организованный

Технологический институт Джорджии

Университет Южной Калифорнии

Университет Джонса Хопкинса

Пенсильванский университет

Калифорнийский университет, Беркли

Политехнический институт Ренсселера

Массачусетский университет, Амхерст

Университет Юты

Университет Карнеги Меллона

Техническое сотрудничество

При поддержке



Оглавление

Обзор

Робототехника как ключевой экономический фактор	1
Результаты «дорожной карты»: краткое изложение основных выводов	2
Концепции, специфичные для рынка	3
Дальнейшая информация	5

Глава 1

Приоритеты исследований в области робототехники и автоматизации для производства США

Резюме	7
1. Введение	8
2. Стратегическое значение робототехники в производстве	9
2.1. Экономический импульс	9
2.2. Области роста	10
2.3. Видение производства	11
3. Дорожная карта исследований	12
3.1. Процессы	12
3.2. Робототехника и производство Примеры	12
3.3. Критические возможности для производства	13
4. Исследования и разработки: перспективные направления	17
4.1. Обучение и адаптация	17
4.2. Моделирование, анализ, симуляция и контроль	18
4.3. Формальные методы	18
4.4. Контроль и планирование	18
4.5. Восприятие	19
4.6. Новые механизмы и высокопроизводительные приводы	19
4.7. Взаимодействие человека и робота	19
4.8. Архитектура и представления	19
5. Литература	20
6. Авторы	21

Глава 2

Дорожная карта исследований в области робототехники в области медицины и здравоохранения

23

Резюме 23

Мотивация и масштаб 23

Поделиться Акцией 24

Результаты семинара 24

1. Введение 24

1.1. Определение поля/домена 24

1.2. Социальные драйверы 25

2. Стратегические выводы 27

2.1. Хирургическая интервенционная робототехника 27

2.2. Роботизированная замена уменьшенной/утраченной функции 28

2.3. Роботизированное восстановление и реабилитация 28

2.4. Поведенческая терапия

2.5. Персонализированный уход за группами населения с особыми 30

потребностями 2.6. Оздоровление/укрепление здоровья 31

3. Ключевые проблемы и возможности 31

3.1. Мотивирующие образцовые сценарии 31

3.2. Дорожная карта возможностей 33

3.3. Проблемы развертывания 42

4. Фундаментальные исследования/технологии 43

4.1. Архитектура и представления 43

4.2. Формальные методы 44

4.3. Контроль и планирование 44

4.4. Восприятие 44

4.5. Надежные, высококачественные 45

датчики 4.6. Новые механизмы и высокопроизводительные приводы 45

4.7. Обучение и адаптация 4.8. 46

Физическое взаимодействие человека и робота 46

4.9. Социально-интерактивные роботы 47

4.10. Моделирование, симуляция и анализ 47

5. Авторы 49

Глава 3

Дорожная карта сервисной робототехники 51

1. Введение 51

2. Стратегические выводы 52

2.1. Основные рынки и движущие 53

силы 2.2. Ближайшие возможности и

Факторы, влияющие на коммерциализацию 54

2.3. Научно-технические задачи	55
3. Ключевые проблемы/возможности	60
3.1. Мотивирующие сценарии	60
3.2. Дорожная карта возможностей	63
4. Фундаментальные исследования	68
технологии 4.1. Архитектура и изображения	68
4.2. Контроль и планирование	68
4.3. Восприятие	69
4.4. Надежные, высококачественные датчики	69
4.5. Новые механизмы и высокопроизводительные приводы	69
4.6. Обучение и адаптация	70
4.7. Физическое взаимодействие человека и робота	70
4.8. Социально-интерактивные роботы	70
5. Авторы	71

Глава 4

Робототехника: новые технологии и тенденции 1. Введение	73
---	----

2. Стратегические выводы	74
2.1. Системы рабатьвания	74
2.2. Энергетика и энергетические системы	74
2.3. Технологическая подготовка материалов	75
2.4. Микро- и нанотехнологии	75
2.5. Интерфейсы человек-робот	76
2.6. Коммуникации и сети	76
2.7. Планирование и контроль	77
2.8. Прочность и надежность	77
2.9. Восприятие и машинное обучение	78
3. Ключевые проблемы/возможности	78
3.1. Мотивирующие/образцовые сценарии	78
3.2. Дорожная карта возможностей	80
4. Исследования/технологии	83
4.1. Системы рабатьвания	83
4.2. Энергетика и энергетические системы	83
4.3. Технологическая подготовка материалов	84
4.4. Планирование и контроль	85
5. Авторы	86

Обзор

Робототехника как ключевой экономический фактор

За последние 50 лет роботы в основном использовались для обеспечения повышенной точности и производительности при выполнении определенных повторяющихся задач, таких как сварка, покраска и механическая обработка, в опасных условиях крупносерийного производства. Автоматизация таких грязных, скучных и опасных функций в основном связана с внедрением индивидуальных решений относительно конкретной краткосрочной выгоды. Хотя в результате возникла значительная «промышленная» индустрия робототехники, области применения таких робототехнических решений первого поколения оказались относительно узкими и в основном ограничены статичными внутренними пределами из-за ограничений в технологиях.

Однако за последние пять лет огромные достижения в области робототехники позволили создать новое поколение приложений в таких разнообразных областях, как гибкое производство, логистика, медицина, здравоохранение и другие коммерческие и потребительские сегменты рынка. Кроме того, становится все более очевидным, что эти ранние продукты следующего поколения являются предвестником многочисленных крупномасштабных глобальных рынков робототехнических технологий, которые, вероятно, будут развиваться в ближайшее десятилетие. Из-за неумолимого старения нашего населения и появления следующего поколения индустрии «робототехники» в конечном итоге повлияет на жизнь каждого американца и окажет огромное экономическое, социальное и политическое влияние на будущее нашей нации.

К сожалению, Соединенные Штаты отстают от других стран в признании важности технологической робототехники. В то время как Европейский Союз, Япония и Корея, а остальной мир вложили значительные инвестиции в исследования и разработки в области робототехники, инвестиции США, за исключением беспилотных систем оборонного назначения, по-прежнему практически отсутствуют. Если эта ситуация не будет решена в ближайшем будущем, Соединенные Штаты рискуют отказаться от своей способности глобально конкурировать на этих развивающихся рынках и подвергнуть страну риску необходимости полагаться на остальной мир в предоставлении критически важной технологии, которая наше население будет становиться все более зависимым от него. Робототехника явно представляет собой одну из немногих технологий, с которыми в ближайшем будущем создадут новые компании и новые рабочие места, а в долгосрочной перспективе решить проблему критически национальной важности.

Чтобы сформулировать необходимость создания в США национальной инициативы в области робототехники, более 140 человек из компаний, лабораторий и университетов со всей страны объединили усилия для подготовки подробного отчета, который (1) определяет будущее влияние технологической робототехники на экономику, потребности нации в социальной сфере и безопасности, (2) описывает различные научные и технологические проблемы и (3) документирует технологическую дорожную карту для решения этих проблем. Эта работа была спонсирована Консорциумом компьютерного сообщества (CCC) и возглавлялась 12 исследователями мирового класса с ведущих академических институтов робототехники в Соединенных Штатах. Проект включал в себя три практических семинара, посвященных усилиям на рынках робототехники в производстве, здравоохранении/медицине и сфере услуг; плюс один, посвященный перспективным исследованиям, посвященным ряду перспективных технологий, которые должны быть в центре внимания постоянных исследований и разработок приложений, чтобы США оставались лидером в области робототехнических технологий и коммерческого развития.

Далее следует краткое изложение основных результатов всех семинаров, возможностей и проблем, характерных для каждого из трех целевых рынков, а также рекомендуемые действия, которые необходимо предпринять, если Соединенные Штаты хотят оставаться глобально конкурентоспособными в области робототехнических технологий. Также доступны подробные отчеты по каждому из четырех семинаров.

Результаты «дорожной карты»: краткое изложение основных выводов

- «Технологии робототехники» обладают «потенциалом» для преобразования «будущего» страны и, скорее всего, это произойдет в течение следующих нескольких десятилетий станут такими же повсеместными, как компьютерные технологии сегодня.
- «Ключевой движущей силой, влияющей на долгосрочное будущее технологий робототехники, является наше старение населения». Как с точки зрения его потенциала по устранению разрыва, созданного стареющей рабочей силой, так и с точки зрения возможности удовлетворить медицинские потребности этого стареющего населения.
- В отличие от Японии, Кореи и Европы с кимс ою зом о с тальной мир признал неоспоримая необходимость развивать технологии робототехники и взять на себя обязательство по инвестициям в исследование на общую сумму более 1 миллиарда долларов; Инвестиции США в робототехнику, за исключением беспилотных систем оборонного назначения, практически отсутствуют.
- Однако технология робототехники достаточно продвинулась, чтобы обеспечить возможность увеличения количества таких устройств. Решения и приложения «улучшения человеческого потенциала» в широком спектре областей, которые являются прагматичными, доступными и приносят реальную пользу.
- По существу, «технология робототехники» предлагает редкую возможность инвестировать в какую-либо область, обеспечивая «самое настоящее». Потенциал для создания новых рабочих мест, повышения производительности, повышения безопасности труда в краткосрочной перспективе, а также для решения фундаментальных проблем, связанных с экономическим ростом в эпоху значительного старения населения в целом и обеспечения услуг для такого населения.
- На каждом семинаре были определены как ближайшие, так и долгосрочные применения технологий робототехники. Цели на 5, 10 и 15 лет для критически важных возможностей, необходимых для реализации таких приложений, и определили базовые технологии, необходимые для реализации этих критически важных возможностей.
- Хотя «определенные «критические» возможности и базовые технологии были специфичными для предметной области, Успехи в синтезе выявили определенные критические возможности, которые были общими для всех, включая надежное трехмерное восприятие, планирование и навигацию, ловкость манипуляций, совместную работу человека, интуитивное взаимодействие человека и робота и безопасное поведение робота.

Концепции, специфичные для рынка

Производство

Производственный сектор составляет 14% ВВП США и около 11% общей занятости.

До 75% чистого экспорта из США приходится на обрабатывающую промышленность. Этот сектор представляет собой область, имеющую большое значение для общего экономического здоровья страны.

В производстве большая часть прогресса и процессов, связанных с робототехникой, исторически была определена автомобильным сектором и во многом определялась необходимостью автоматизировать конкретные задачи, особенно при крупномасштабном производстве. Однако новая экономика гораздо меньше ориентирована на массовое производство и больше ориентирована на производство продукции по индивидуальному заказу.

Модельная компания больше не является крупным предприятием, таким как GM, Chrysler или Ford, а представляет собой малые и средние предприятия, как, например, в Фокс-Вэлли или в пригороде Чикаго. Потребность в такой экономике гораздо больше зависит от более высокой степени адаптации, простоты использования и других факторов, которые позволяют производить продукцию на заказ небольшими партиями. Хотя Соединенные Штаты на протяжении последнего десятилетия продолжают лидировать в мире по повышению производительности производства, нам становится все труднее конкурировать с компаниями в странах с низкими зарплатами, производящими ту же продукцию, используя те же инструменты и процессы.

Однако благодаря разработке и внедрению робототехнических технологий следующего поколения и развитию более высококвалифицированной рабочей силы Соединенные Штаты могут продолжать лидировать в мире по производительности производства, особенно для малых и средних компаний. Это позволит стране сохранить сильную, конкурентоспособную на мировом рынке производственную базу, обеспечить дальнейший экономический рост и помочь защитить нашу национальную безопасность.

Логистика

Эффективность логистических процессов важна для большинства аспектов нашей повседневной жизни, от доставки почты до наличия продуктов питания в продуктовых магазинах. В настоящее время Соединенные Штаты ежедневно импортируют более 100 000 контейнеров, с которыми необходимо обработать, распределить и предоставить клиентам.

Робототехнические технологии уже используются для автоматизации обработки контейнеров в портах Австралии и других стран, а также могут улучшить процессы проверки. После того, как они покидают порт или пункт отправления, перемещение товаров обычно включает в себя несколько этапов. Например, доставка продуктов питания от фермеров в продуктовые магазины включает в себя несколько этапов транспортировки и обработки. Хотя значительная часть цен на продукты питания напрямую связана с этими транспортными/логистическими расходами, менее 15% совокупного процесса распределения расматривается для автоматизации. Технологии робототехники следующего поколения потенциально способны обеспечить большую оптимизацию таких логистических процессов и снизить цены на продукты питания и другие товары на несколько процентов. Однако для реализации этого потенциала необходимо предоставить новые методы захвата и обработки упаковки, а также новые методы распознавания объектов и манипулирования ими.

Медицинские роботы

За последнее десятилетие в медицинской робототехнике был достигнут значительный прогресс. Сегодня с помощью малоинвазивных роботов выполняются несколько типов операций на предстательной железе, значительно увеличивается и количество кардиоопераций. Минимально инвазивная хирургия с использованием робототехники имеет значительные преимущества, включая меньшие разрезы, меньшее время, проведенное в больнице, меньший риск заражения, более быстрое выздоровление и меньшее количество побочных эффектов. В целом качество медицинской помощи улучшается, а благодаря более коротким периодам отсутствия на работе возникают значительные экономические выгоды. Хотя количество медицинских процедур, для которых используются роботы, по-прежнему относительно невелико, ожидается, что их использование будет широко распространено.

Расширяйтесь по мере того, как достижения в области робототехники следующего поколения обещают улучшенные возможности визуализации, обратную связь с хирургом и более гибкую интеграцию в общий процесс. Таким образом, медицинская робототехника потенциально может оказать огромное влияние, экономическое и иное, по мере старения нашего населения.

Здоровое ранение

Число людей, страдающих от инсультов и других травм, связанных с возрастом, будет продолжать расти и становиться еще более выраженным. Когда люди получают травму или инсульт, очень важно, чтобы они как можно скорее прошли регулярные сеансы физиотерапии, чтобы обеспечить максимально полное выздоровление. Однако зачастую реабилитация/обучение происходит вдали от дома, и из-за нехватки терапевтов часто возникают серьезные ограничения при составлении графика. Технологов и робототехники следующего поколения будут все в большей степени обеспечивать более ранние и частые занятия, более высокую степень адаптации в тренировках и позволять выполнять определенный процент этих тренировок дома. Обеспечивая таким образом более персонализированные схемы лечения, реабилитация с использованием робототехники открывает потенциал для более быстрого и полного выздоровления пациентов. Робототехника также начинает использоваться в здоровом ранении для ранней диагностики аутизма, тренировки памяти у людей с деменцией и других расстройств, где важен индивидуальный подход и есть возможность получить значительную экономическую выгоду.

Сегодня на рынке представлены первые продукты, но весь потенциал еще предстоит изучить.

Услуги

Использование робототехнических технологий в сфере услуг варьируется как профессиональные, так и бытовые применения. В сфере профессиональных услуг новые области применения включают улучшенную добычу полезных ископаемых, автоматизированные комбайны для сельскохозяйственных и лесных хозяйств, а также очистку крупномасштабных объектов. Приложения для домашних услуг включают уборку, наблюдение и помощь на дому. Сегодня уже установлено более 4 миллионов автоматических пылесосов, и рынок продолжает расти. До сих пор разрабатывались только самые простые приложения, но экономика США все более осваивается на услугах, предлагает значительный потенциал для автоматизации услуг для улучшения качества и времени доставки без увеличения затрат. Поскольку люди работают дольше, необходимо оказывать им помощь дома, чтобы у них было время для досуга. Большой проблемой в сфере сервисной робототехники станет разработка высокопроизводительных систем на чувствительных к ценам рынках.

Международный контекст

Перспективы создания процветающей индустрии робототехники следующего поколения, конечно, не остались незамеченными. Европейская комиссия недавно запустила программу, в рамках которой 600 миллионов евро инвестируются в робототехнику и когнитивные системы с целью укрепления отрасли, особенно в сфере производства и услуг. Корея запустила аналогичную программу в рамках своей инициативы XXI века, взяв на себя обязательство инвестировать 1 миллиард долларов в технологов и робототехники в течение 10 лет. Аналогичные, но меньшие программы также существуют в Австралии, Сингапуре и Китае. В Соединенных Штатах финансирование было выделено на беспилотные системы в оборонной промышленности, но очень мало программ было создано в коммерческом, медицинском и промышленном секторах. Хотя индустрия промышленной робототехники зародилась в США, глобальное лидерство в этой области сейчас принадлежит Японии и Европе. В таких областях, как медицинская реабилитация и услуги, Соединенные Штаты также рано заняли лидирующие позиции, но есть быстрые последователи, и неясно, сможем ли мы долго удерживать нашу лидирующую позицию без национальной приверженности продвижению вперед необходимых технологов и робототехники.

Дальнейшая информация

<http://www.us-robotics.us>

Контакт: проф. Хенрик Кристенсен

КУКА Кафедра робототехники

Технологического института Джорджии

Атланта, Джорджия 30332

Телефон: +1 404 385 7480

Электронная почта: hic@cc.gatech.edu

Глава 1

Приоритеты исследований в области

робототехники и автоматизации для производства в США

Управляющее резюме

Реструктуризация производства в США необходима для будущего экономического роста, создания новых рабочих мест и обеспечения конкурентоспособности. Это, в свою очередь, требует инвестиций в фундаментальные исследования, разработку новых технологий и интеграцию результатов в производственные системы. 19 декабря 2008 года правительство США объявило о выделении чрезвычайных федеральных займов General Motors и Chrysler на сумму 13,4 миллиарда долларов для облегчения реструктуризации и поощрения новых исследований и разработок - яркий пример того, как США играют в догонялки, а не берут нас себя технологическое лидерство.

Федеральные инвестиции в исследования в сфере производства могут оживить американское производство. Инвестирование небольшой части наших национальных ресурсов в науку о рентабельном и ресурсоэффективном производстве принесет пользу американским потребителям и поддержит миллионы работников в этом жизненно важном секторе экономики США. Это позволило бы нашей экономике процветать, даже несмотря на то, что соотношение работающих и пенсионеров постоянно снижается. Такая программа исследований и разработок также принесет пользу здравоохранению, сельскому хозяйству и транспортным отраслям, а также укрепит наши национальные ресурсы в сфере обороны, энергетики и безопасности. В результате бурная исследовательская деятельность значительно улучшит качество продукции «Сделано в США» и повысит производительность производства в США на следующие пятьдесят лет.

Робототехника — ключевая преобразующая технология, которая может произвести революцию в производстве. Американские рабочие больше не стремятся к низкооплачиваемым рабочим местам на фабриках, а стоимость труда американских рабочих продолжает расти из-за расходов на страхование и здравоохранение. Даже когда рабочая сила достигла тупика, следующие поколения миниатюрных, сложных продуктов с коротким жизненным циклом требуют адаптируемых, точных и надежных, превосходящих навыки рабочих людей. Усовершенствованная робототехника и автоматизация производства: а) сокращая интеллектуальную ответственность и бремя, которое без нее было бы потеряно; б) спасая компании, делая их более конкурентоспособными; в) предоставляя рабочие места для разработки, производства, обслуживания и обучения роботов; г) позволить фабрикам использовать команды человек-робот, которые используют навыки и сильные стороны друг друга (например, человеческий интеллект и ловкость в сочетании с точностью, силой и повторяемостью робота), д) улучшают условия труда и уменьшают дорогостоящие медицинские проблемы; и (ф) сократить время производства готовой продукции, что позволит системам более оперативно реагировать на изменения рыночного спроса. Действительно, эффективное использование робототехники увеличит количество рабочих мест в США, улучшит качество этих рабочих мест и повысит нашу глобальную конкурентоспособность.

Робототехника —

ключевая преобразующая

технология, которая

может произвести

революцию в производстве.

В этом официальном документе обобщается стратегическая важность технологических робототехники и автоматизации для обрабатывающей промышленности в экономике США, описываются области применения, в которых технологические робототехники и автоматизация значительно повысят производительность, а также обрисовывается дальновидная дорожная карта исследований и разработок с ключевыми областями исследований для немедленных инвестиций для достижения этих целей.

1. Введение

В этом документе обобщаются деятельность и результаты семинара по робототехнике производства и автоматизации, который был поддержан грантом Консультативного комитета по вопросам общества Ассоциации компьютерных исследований. Этот семинар был первым из четырех, организованных по различным областям робототехники, общей целью которого было создание убедительной концепции исследований и разработок в области робототехники, а также дорожных карт для развития технологических робототехники для максимизации экономического эффекта. Программа исследований, предложенная в этом отчете, приведет к значительному укреплению производственного сектора экономики США, хорошо обученной, технологически продвинутой рабочей силой, созданию новых рабочих мест и широкому процветанию американцев.

Термины «робототехника» и «автоматизация» имеют четкое техническое значение. По данным Общества робототехники и автоматизации Института инженеров электроники и электротехники, «робототехника фокусируется на системах, включающих датчики и исполнительные механизмы, которые работают автономно или полуавтономно в сотрудничестве с людьми. Исследования в области робототехники подчеркивают интеллект и способность адаптироваться к неструктурированной среде. Исследования в области автоматизации делают упор на эффективность, производительность, качество и надежность, уделяя особое внимание системам, которые работают автономно, часто в структурированных средах в течение длительных периодов времени, а также на явном структурировании таких сред».

Семинар по робототехнике производства и автоматизации состоялся 17 июня 2008 г. в Вашингтоне (http://www.us-robotics.us/?page_

идентификатор=9). Цель была тройной: во-первых, определить стратегическое значение робототехники и технологий автоматизации в обрабатывающих отраслях экономики США (раздел 2); во-вторых, определить области применения, в которых технологические робототехники и автоматизация могут повысить производительность (раздел 3); и, в-третьих, определить исследования и разработки, которые необходимо провести, чтобы сделать технологические робототехники и автоматизацию экономически эффективными в этих приложениях (раздел 4). Для достижения этой цели были разработаны технические документы, описывающие текущее использование и будущее.



Вверху: роботы с тали обычным явлением в автомобильном производстве. (Источник: ABB Robotics)

Внизу: Легкие роботы выходят на рынок для высокоскоростной обработки материалов, например, в пищевой промышленности и упаковке электроники. (Источник: Адепт)



Потребности робототехники в отрасли были запрошены у профессионалов, отвечающих за производство в их компаниях. У академических исследователей были запрошены официальные документы о предполагаемых промышленных потребностях. Авторы принятых технических документов (документы по адресу http://www.us-robotics.us/?page_id=14) были приглашены принять участие в семинаре, где авторы из промышленности также были приглашены сделать короткие презентации о состоянии и будущем использовании робототехники в промышленности их компании.

2. Стратегическое значение робототехники в производстве

2.1. Экономический импульс

Основой экономической ориентации в прошлом веке стала индустриализация, ядром которой было производство. Производственный сектор составляет 14% ВВП США и около 11% общей занятости [E07]. Целых 75% чистого экспорта из США связано с производством [State04], поэтому этот сектор представляет собой область чрезвычайной важности для общего экономического здоровья страны. В сфере производства робототехника представляет собой отрасль с оборотом в 5 миллиардов долларов США, которая стабильно растет на 8% в год. Эта отрасль робототехники поддерживается обрабатывающей промышленностью, которая составляет контрольно-измерительные приборы, вспомогательное оборудование для автоматизации и системную интеграцию, что в сумме составляет 20 миллиардов долларов США.

Производственная экономика США существенно изменилась за последние 30 лет. Несмотря на значительные потери Канады, Китая, Мексики и Японии за последние годы, производство по-прежнему представляет собой важный сектор экономики США. Производство включает в себя производство всех товаров, от бытовой электроники до промышленного оборудования, составляет 14% ВВП США и 11% занятости в США [WB06]. Производительность обрабатывающей промышленности США превышает производительность ее основных торговых партнеров. Мы лидируем во всех странах по производительности как в час, так и на одного сотрудника [DoC04]. Наша производительность на душу населения продолжает расти, увеличившись более чем на 100% за последние три десятилетия. Действительно, именно эта растущая производительность подрывает конкурентоспособность обрабатывающей промышленности США в разгар расцвета ее становления, а также перед лицом удивительного роста в Китае, Индии и других развивающихся странах. Во многом этот рост производительности и эффективности можно объяснить инновациями в технологиях и использованием технологий при проектировании продукции и производственных процессов.

Однако эта динамика также меняется. Амбициозные иностранные конкуренты инвестируют в фундаментальные исследования и образование, которые улучшают их производственные процессы. С другой стороны, доля промышленного производства США, инвестируемая в исследования и разработки, по сути, осталась неизменной за этот период. Доля США в общемировом финансировании исследований и разработок значительно упала до 30%. Наши зарубежные конкуренты используют те же технологические инновации, в некоторых случаях значительно снижая затраты на рабочую силу, чтобы подорвать доминирование США, поэтому обрабатывающая промышленность США сталкивается с растущим давлением. Наш торговый баланс промышленными товарами падает на тревожные 50 миллиардов долларов за десятилетие. Кроме того, с учетом старения населения число работающих также быстро сокращается, и оптимистические прогнозы указывают на то, что в 2050 году на одного пенсионера будет приходиться два работника [E07]. Рабочие-роботы должны компенсировать лаг рабочих людей, чтобы поддерживать рост производительности, который необходим при уменьшении числа рабочих людей.

Наконец, драматический прогресс в технологиях робототехники и автоматизации становится еще более важным в связи с следующим поколением дорогих продуктов, новых навигационных компьютеров, современных датчиков и микроэлектронике, требующих микро- и нано-борки, для которых требуется трудоемкое производство с участием людей. Больше не является жизнеспособным вариантом.

В отличие от США, Китай, Южная Корея, Япония и Индия вкладывают значительные средства в высшее образование и исследования [NAE07]. Индия и Китай систематически переманивают обратно своих ученых и инженеров после того, как они прошли обучение в США. Согласно [NAE07], они «... по сути, отправляют студентов для получения навыков и предоставляют рабочие места, чтобы вернуть их обратно». Этот контраст в инвестициях очевиден в конкретных областях, связанных с робототехникой и производством. Корея инвестирует 100 миллионов долларов в год в течение 10 лет (2002-2012) в исследования и образование в области робототехники в рамках своей передовой программы XXI века. Европейская комиссия инвестирует 600 миллионов долларов в робототехнику и когнитивные системы в рамках 7-й рамочной программы. Япония инвестирует 350 миллионов долларов США в течение следующих 10 лет в гуманоидную робототехнику, сервисную робототехнику и интеллектуальную среду, хотя это и меньше по сравнению с обязательствами Кореи и Европейской комиссии. Федеральные инвестиции США в невоенную сферу по большинству показателей невелики по сравнению с этими инвестициями.



Роботы Novel Mobile открывают новые парадигмы в логистике и управлении складами, обеспечивая повышенную производительность, скорость, точность и гибкость. (Источник: KIVA Системы)

2.2. Области роста

Министерство торговли и Совет по конкурентоспособности [CoC08, DoC04] проанализировали широкий набор из 280 компаний, а также их консолидированные годовые темпы роста. Данные по основным промышленным секторам показаны в таблице ниже.

Сектор	средний рост	рост
Робототехника - производство, сервис и медицина	20%	0-120%
IT-компании	21%	15-26%
Здравоохранение/уход за пожилыми людьми	62%	6-542%
Развлечения/игрушки	6%	4-17%
Медиа/Игры	14%	-2-36%
Бытовая техника	1%	-4-7%
Оснащение оборудования	8%	-4-20%
Автомобильная промышленность	0%	-11-13%
Логистика	21%	4-96%
Автоматизация	4%	2-8%

Консолидированные годовые темпы роста по 280 компаниям США за период 2004-2007 гг.

Текущие области роста производства включают логистику, включая погрузочно-разгрузочные работы, и робототехнику. Учитывая важность производства в целом, важно подумать о том, как можно использовать такие технологии, как робототехника, для укрепления обрабатывающей промышленности США.

2.3. Видение производства

Производство в США сегодня находится там, где технология баз данных была в начале 1960-х годов: это лоскутное одеяло из пещерных решений, которыми не хватало строгой методологии, ведущей к научным инновациям. В 1970 году Тед Кодд, математик из IBM, изобрел реляционную алгебру, элегантную математическую модель базы данных, которая стимулировала финансируемые из федерального бюджета исследования и образование, что привело к сегодняшней индустрии баз данных с оборотом в 14 миллиардов долларов. Производство могло бы получить огромную выгоду, если бы можно было разработать аналогичные модели. Точно так же, как метод сложения двух чисел не зависит от того, какой карандаш вы используете, производственные абстракции могут быть полностью независимыми от продукта, который вы производите, или от систем сборочной линии, используемых для сборки.

Еще одним прецедентом является машина Тьюринга, элегантная абстрактная модель, изобретенная Аланом Тьюрингом в 1930-х годах, которая заложила математические и научные основы для наших ныне успешных высокотехнологичных отраслей. Аналогичная машина Тьюринга для проектирования, автоматизации и производства может принести огромные выгоды. Последние разработки в области вычислительной техники и информатики теперь позволяют моделировать и рассуждать о физических производственных процессах, создавая новую для исследователей, чтобы «внедрить» Тьюринга в производство. Результатом, как и в случае с базами данных и компьютерами, станет более качественная и надежная продукция с меньшими затратами и более быстрой доставкой [GK07].

Более эффективное использование робототехники благодаря усовершенствованным технологиям робототехники и их орошению обученной рабочей силой увеличит количество рабочих мест в США и глобальную конкурентоспособность. Традиционные конвейерные рабочие приближаются к пенсионному возрасту. Американские рабочие в настоящее время недостаточно обучены работе с роботизированными технологиями, а расхожее настороженное и здоровое отношение продолжают расти. Даже когда рабочая сила достаточно тупая, следующее поколение миниатюрных, сложных продуктов с коротким жизненным циклом требует адаптируемости сборки, точности и надежности, превосходящих навыки рабочих-людей. Широкое внедрение усовершенствованной робототехники и автоматизации в производстве: (а) сократит интеллектуальную собственность и богатство, которые без нее ушли бы за границу, (б) спасет компании, делающих более конкурентоспособными, (в) обеспечит рабочие места для обслуживания и обучения роботов, (г) позволит фабрикам использовать команды человек-робот, которые безопасно используют сильные стороны друг друга (например, люди лучше справляются с неожиданными событиями, чтобы поддерживать работу производственных линий, в то время как роботы обладают большей точностью и повторяемостью и могут поднимать тяжелые детали), (е) уменьшить дорогостоящие медицинские проблемы, например, туннельный синдром запястья, травмы спины, ожоги и вдыхание вредных газов и паров, и (ф) сократить время ожидания в конвейере готовой продукции, позволяя системам более оперативно реагировать на изменения розничного спроса.

Инвестиции в исследования и образование в сфере производства могут оживить американское производство. Инвестирование небольшой части наших национальных ресурсов в науко-ориентированный и ресурсоэффективный производственный сектор принесет пользу американским потребителям и поддержит миллионы работников в этом жизненно важном секторе экономики США. Такие инвестиции принесут пользу здоровью нации, сельскому хозяйству и транспорту, а также укрепят наши национальные ресурсы в сфере обороны, энергетики и безопасности. В результате бурная исследовательская деятельность повысит качество и производительность «Сделано в США» на следующие пятьдесят лет.

3. Дорожная карта исследований

3.1. Процесс

Дорожная карта производственных технологий описывает видение развития критически важных возможностей производства путем разработки набора базовых технологий в робототехнике. Каждая критическая возможность вытекает из одной или нескольких важных широких областей применения в производстве. Они указывают на основополагающие области фундаментальных исследований и разработок (как показано на рисунке 1 и обсуждаются в разделе 4). Интеграция всех частей этой дорожной карты в целостную программу необходима для достижения желаемого оживления производства в США.

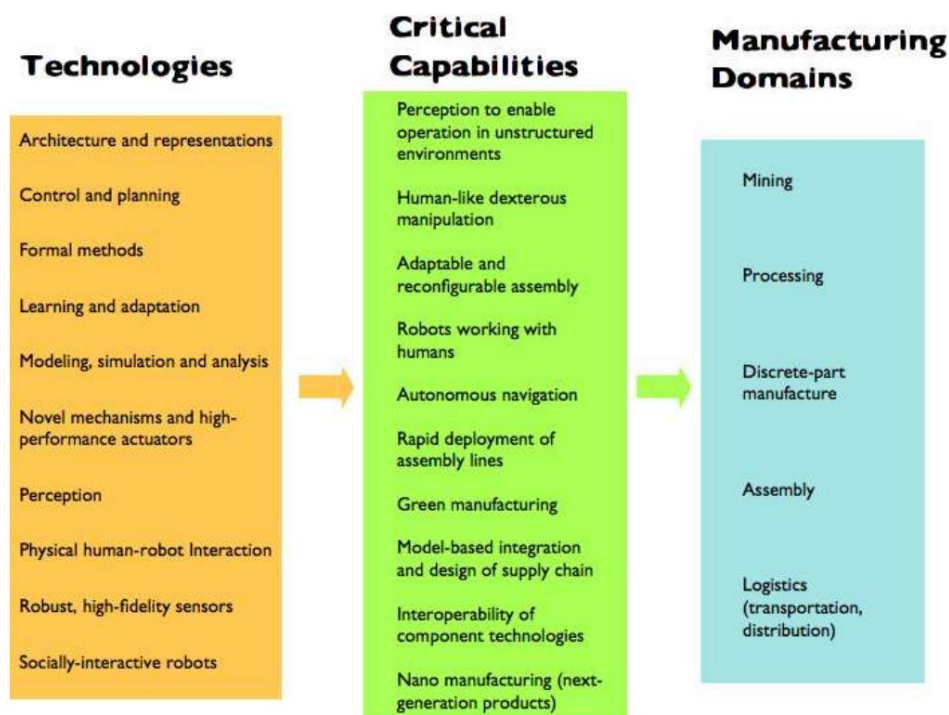


Рисунок 1: Процесс дорожной карты: необходимые исследования и разработки в технологических областях, которые возникают из критических возможностей, необходимых для воздействия на производственные области приложений.

3.2. Робототехника и производство.

Мы кратко обсудим мотивирующие приложения с примерами и важнейшие возможности, необходимые для успешного положительного воздействия на приложения. Эти эпизоды служат иллюстрацией изменений парадигмы в производстве и примерами интеграции возможностей и технологий. В дорожной карте подробно описаны пятилетние, десятилетние и пятнадцатилетние этапы реализации критически важных возможностей.

Эпизод 1: Роботы-помощники с борочной линии

Производитель автомобилей испытывает резкий рост заказов на новый дизайн электрокара, и ему необходимо быстро объединить свои производственные мощности с другими более ранними моделями, уже находящимися в производстве. Задачи по сборке быстро переопределяются для соответствия новой, более эффективной модели автомобиля. Привозится набор роботов-помощников с борочной линии, которые быстро настраиваются для работы вместе с переобученными людьми над новыми задачами. Для обеспечения работы организована одна тренировочная смена.

с темы и алгоритмы обучения роботов для точной настройки параметров, а затем вводятся эксплуатационные вторые меры, что позволяет удвоить производительность завода за четыре дня. Затем изменение ключевого поставщика требует изменения производительности с борки с учетом нового допуска в борке аккумуляторной батареи. Инженеры используют вычислительные инструменты для быстрого изменения производительности с борки; затем распечатывают новые инструкции для рабочих и загружают модифицированные программы с борки роботам-помощникам.

Пример 2. Единственное в своем роде производство с борка отдельных деталей. В небольшую

мастерскую с пятью сотрудниками, в основном обслуживающими заказы от компаний, производящих медицинское оборудование, однажды утром обратился ярог терапевт с просьбой создать индивидуальное устройство с управлением от головы для инвалида-колясочника с параличом нижних конечностей. Сегодня производство таких уникальных устройств было бы непомерно дорогим из-за затрат времени и труда на наладку машин с борку. Владелец мастерской перепрограммирует робота с помощью голосовых команд и жестов, обучая робота, когда он это требует. Робот может доставлять заготовки на фрезерные и токарные станки и управлять станками. Пока машины работают, робот настраивает необходимые механические и электронные компоненты, запрашивая помощь, когда в наборе команд возникает двусмысленность. Перемещаясь от станков к станкам, робот может убрать разливы жидкостей и предупредить человека о проблемах безопасности в рабочей ячейке. Робот отвечает на запросы о быстром выполнении поручения мастера, а в перерывах между работами, но может сказать «нет» другому запросу, который привел бы к задержке его основной работы. Робот собирает компоненты, и к полудню заказ будет готов к отправке. Это происходит с минимальным нарушением графика заказов.

Пример 3: Быстрое, комплексное, основанное на модели проектирование цеховки поставок

Выяснилось, что упаковкадетского питанияот крупного поставщика из зарубежной страны страдает от серьезных проблем с контролем качества. Ведущий инженер из США может использовать комплексную многоагентную, дискретную и непрерывную модель всей цеховки поставок, ознакомиться с новыми поставщиками и поставщиками, перепрофилировать части цеховки поставок и осуществлять полную трансформацию цеховки событий: производство, дискретная упаковка в коробки, поставка и дискретная. Важным аспектом трансформации является внедрение 20 роботов для быстрого изготовления обновления упаковки.

Сегодня эти эпизоды могут показаться надуманными, но у нас есть технологическая база, коллективный опыт и образовательная инфраструктура для развития широких возможностей для реализации этого видения через 15 лет при соответствующих инвестициях в критически важные технологические области.

3.3. Критические возможности для производства

В этом разделе мы кратко обсудим важнейшие возможности и приводим примеры возможных этапов на 5, 10 и 15 лет. После этого в разделе 4 мы описываем некоторые перспективные направления исследований, которые могут позволить нам достичь этих целей.

3.3.1. Адаптируемая и реконфигурируемая борка

Сегодня временной разрыв между конечным проектированием нового продукта и производством на конвейере в США неприемлемо велик. Для нового автомобиля этот срок может достигать двадцати четырех месяцев.

Учитывая новый продукт и набор подсистем борочной линии, которые можно использовать для изготовления продукта, мы хотим добиться возможности адаптировать подсистемы, реконфигурировать их и настраивать рабочие места для производства продукта.

Соответственно, дорожная карта адаптируемых и реконфигурируемых борков включает в себя следующие цели на ближайшие пятнадцать лет.

5 лет: Получить возможность настраивать, конфигурировать и программировать основные операторы борочной линии для новой продукции с использованием специализированного промышленного роботоманипулятора, оснастки и вспомогательных устройств для перемещения материалов менее чем за 24 часа.

10 лет: Достичь с помощью настраивать, конфигурировать и программировать основные операторы борочной линии для новой продукции с помощью специализированного промышленного роботоманипулятора, оснастки и вспомогательных устройств для перемещения материалов за одну 8-часовую смену.

15 лет: Достичь с помощью настраивать, конфигурировать и программировать основные операторы борочной линии для новой продукции с помощью специализированного промышленного роботоманипулятора, инструментов и вспомогательных устройств для перемещения материалов за один час.

3.3.2. Автономная навигация

Автономная навигация — это базовая возможность, которая повлияет на автоматизацию горнодобывающей и строительной оборудования, эффективную транспортировку сырья на перерабатывающие заводы, автоматизированные управляемые транспортные средства для погрузочно-разгрузочных работ на борочных линиях и операторы логистической поддержки, такие как складирование и распределение. Обеспечение безопасной автономной навигации в неструктурированной среде с статическими препятствиями, транспортными средствами, управляемыми человеком, пешеходами и животными потребует значительных инвестиций в технологии или компоненты. Дорожная карта автономной навигации состоит из следующих этапов.

5 лет: Автономные транспортные средства смогут передвигаться по полю с современным горным дорожным покрытием с вещными и размеченными дорогами и демонстрировать безопасное вождение, сравнимое с водителем-человеком. Производительность автономных транспортных средств будет превосходить производительность водителей-людей при выполнении таких задач, как навигация по промышленной зоне добычи или строительной зоне, заезд задним ходом на погрузочную платформу, параллельная парковка, а также экстренное торможение и остановка.

10 лет: Автономные транспортные средства смогут передвигаться в любой горной и горнотранспортной дороге, будут демонстрировать ограниченные возможности для бездорожья, по которому смогут ездить люди, и будут такими же безопасными, как и средний автомобиль, управляемый человеком.

15 лет: Автономные транспортные средства смогут двигаться в любой среде, в которой смогут ездить люди. Их навыки вождения будут неотличимы от человеческих, за исключением того, что водители-роботы будут безопаснее и предсказуемее, чем водитель-человек с таким же вождением менее одного года.

3.3.3. Экологическое производство

Как сказал американский архитектор Уильям Макдонаф, «загрязнение является имевшим провалом проектирования [и производства]». Наш нынешний подход к производству, при котором компоненты, а затем подсистемы интегрируются для ответа на требования, предъявляемые спецификациями, должен быть полностью переосмыслен, чтобы обеспечить экологически чистое производство. Сегодняшние решения по окраске производственных отходов в основном направлены на технологические отходы, коммунальные отходы и отходы от остановок и технических обслуживания. В нашей дорожной карте экологически чистого производства особое внимание уделяется вторичной переработке всех компонентов и подсистем, используемых на протяжении всего производственного процесса, начиная с добычи и переработки сырья и заканчивая производством и распределением готовой продукции. Мы особенно озабочены повторным использованием производственной инфраструктуры, переработкой сырья, минимизацией требований к энергии и мощности на каждом этапе и переопределением подсистем для производства новой продукции.

5 лет: Производственный процесс будет перерабатывать 10% сырья, повторно использовать 50% оборудования и использовать только 90% энергии, использованной в 2010 году для того же процесса.

10 лет: Производственный процесс будет перерабатывать 25% сырья, повторно использовать 75% оборудования и использовать только 50% энергии, использованной в 2010 году для того же процесса.

15 лет: Производственный процесс будет перерабатывать 75% сырья повторно и использовать 90% оборудования и использовать только 10% энергии, использованной в 2010 году для того же процесса.

3.3.4. Человеческое ловкое манипулирование

Роботизированные руки и руки в конечном итоге превзойдут человеческие руки. Это уже верно с точки зрения скорости и силы. Однако человеческие руки по-прежнему превосходят всех роботов в задачах, требующих ловких манипуляций. Это происходит из-за пробелов в ключевых областях технологий, особенно в восприятии, надежном и деликатном восприятии, планировании и контроле. Дорожная карта ловких манипуляций, подобных человеческим, состоит из следующих этапов.

5 лет: Руки низкой сложности с небольшим количеством независимых суставов будут способны надежно захватывать всю кисть.

10 лет: Руки средней сложности с десятками независимых суставов и новыми механизмами и приводами будут способны захватывать всю руку и выполнять ограниченные ловкие манипуляции.

15 лет: Руки высокой сложности с плотностью тактильного ощущения, приближающейся к человеческой, и превосходящими динамическими характеристиками будут способны надежно хватать всей рукой и ловко манипулировать объектами, обнаруженными в производственных средах, используемых людьми.

3.3.5. Модельно-ориентированная интеграция и проектирование цепочки поставок

Недавние разработки в области вычислительной техники и информатики теперь позволили моделировать и раскладывать физические производственные процессы, подготавливая почву для производителей, чтобы «внедрить Тьюринг в производство». Если это будет достигнуто, как в случае с базами данных и компьютерами, это обеспечит совместимость компонентов и подсистем, а также более высокое качество и надежность продуктов, снижение затрат и более быструю доставку. Соответственно, наша дорожная карта должна включать достижения, которые демонстрируют следующие вехи.

5 лет: Безопасные, проверенные и правильные конструкции для изготовления отдельных деталей, включающие возникновение ошибок во время строительства производственного объекта.

10 лет: Безопасные, проверенные и правильные проекты для всей производственной цепочки поставок в различных временных и длинных масштабах, включающие возникновение ошибок при проектировании производственной цепочки поставок.

15 лет: Производство продуктов следующего поколения. Благодаря достижениям в области микро- и нано-науки и технологий, а также новым процессам производства мы сможем разрабатывать безопасные и документально подтвержденные конструкции для линейки продуктов.

3.3.6. Нанопроизводство

Классические интегральные схемы и вычислительные парадигмы на основе КМОП дополняются новыми вычислительными подходами, изготовленными на основе нанотехнологий. Мы наблюдаем рост технологий некремниевых микросистем и новых подходов к изготовлению структур с использованием синтетических методов, встречающихся в природе. Достижения в области МЭМС, маломощных СБИС и нанотехнологий уже позволяют создавать автономных роботов размером менее миллиметра. Вероятно, появление новых параллельных и даже стохастических технологий с боркой для дешевого производства. Многие традиционные парадигмы производства будут заменены новыми, еще не изобретенными подходами к нанопроизводству. Соответственно, дорожная карта нанопроизводства и наноробототехники должна делать акцент на фундаментальных исследованиях и разработках следующим образом.

5 лет: Технологии массового параллельного сборки по редством автоматизации и использование биологии для разработки новых подходов к производству из органических материалов.

10 лет: Производство пост-КМОП-революции, позволяющей создать следующее поколение молекулярной электроники и органических компьютеров.

15 лет: Нанопроизводство нанороботов для доставки лекарств, терапии и диагностики.

3.3.7. Восприятие неструктурированной среды

Автоматизация производства оказалась проще для массового производства с фиксированной автоматизацией, а обеспечения гибкой автоматизации и автоматизации для массовых настраиваемых не были реализованы, за исключением обычных случаев. Одна из основных причин заключается в том, что фиксированная автоматизация подходит для очень структурированных сред, в которых задачи создания «умных» производственных машин значительно упрощаются. Автоматизация небольших партий требует, чтобы роботы были умнее, гибче и могли безопасно работать в менее структурированных средах, в которых работают люди. Например, при планировке с низким уровнем продукта роботы и другие машины отправляются на различные рабочие места продукта (например, на самолет или корабль) для выполнения своих задач, тогда как при функциональной планировке продукт перемещается к различным машинам.

Проблемы уникального производства усугубляют эти трудности. Дорожная карта восприятия включает в себя следующие этапы.

5 лет: трехмерное восприятие, обеспечивающее автоматизацию даже в неструктурированных типичных условиях их а, занимающих серийным производством.

10 лет: Восприятие поддержки автоматизации небольших партий, например, специализированных медицинских средств, каркасов для инвалидов колясок и носимых устройств.

15 лет: Восприятие действительно единственного в своем роде производства, включая индивидуальные вспомогательные устройства, персонализированную мебель, специализированные надводные и подводные корабли, а также космические корабли для исследования и колонизации планет.

3.3.8. Исключение безопасные роботы, работающие с людьми

Робототехника добилась значительного прогресса в обеспечении полной и совместной автономии в таких задачах, как вождение транспортных средств, физиотерапия человека и переноска тяжелых деталей (с использованием роботов). Использование этих достижений для обеспечения автономии и общей автономии в других задачах, таких как сборка и манипулирование, представляет собой серьезную проблему. Эксперты автомобильной отрасли признают преимущества поддержки автоматизации для работников-людей либо в виде гуманоидных помощников, либо в виде умных машин, которые безопасно взаимодействуют с работниками-людьми. Чтобы определить основные этапы исследования, мы предлагаем три уровня возможностей с борочной линии:

1. С точки зрения I: людям не требуются специальные навыки и обучение продолжительностью < 1 часа. Примеры: захват и размещение, вставка, упаковка. Каноническим эталоном, который можно использовать для тестирования и сравнения между группами, могут быть общие задачи, такие как нарезание и отвинчивание стандартной 1-дюймовой гайки и болта.
2. С точки зрения II: людям требуются незначительные навыки и 1-10 часов обучения. Примеры: резка / формовка, пайка, клепка. Каноническим тестом может быть разборка и повторная сборка конкретного стандартного фонаря.
3. С точки зрения III: людям требуются навыки и > 10 часов обучения. Примеры: указанные стандарты сварки, механической обработки, контрольные эталоны.

Дорожная карта для роботов, работающих с людьми, выглядит следующим образом.

5 лет: Прототипировать прототип конвейерного робота с датчиками, которые могут обнаруживать и реагировать на человеческие жесты и движения в своем рабочем пространстве, последовательно выполняя при этом с посылкой Уровня I (с.м. выше) рядом с человеком в течение 8 часов, не требуя какого-либо вмешательства с стороны людей поблизости.

10 лет: Прототипировать прототип конвейерного робота с датчиками, которые могут обнаруживать и реагировать на человеческие жесты и движения в своем рабочем пространстве, последовательно работая на уровне II рядом с человеком в течение 40 часов, не требуя какого-либо вмешательства с стороны людей поблизости.

15 лет: Прототипировать коммерчески доступного конвейерного робота с датчиками, которые могут обнаруживать и реагировать на человеческие жесты и движения в своем рабочем пространстве, последовательно работая на уровне III рядом с человеком в течение 80 часов, не требуя какого-либо вмешательства с стороны людей поблизости.

3.3.9. Образование и обучение

США могут воспользоваться преимуществами новых результатов исследований и технологий только при наличии рабочей силы, хорошо обученной основам робототехники и соответствующим технологиям. Эта рабочая сила должна иметь широкий диапазон навыков и уровней знаний - от людей, прошедших подготовку в профессиональных школах и колледжах для работы с высокотехнологичным производственным оборудованием, до разработчиков с уровнями бакалавра и магистратуры, обученных создавать надежное высокотехнологичное производственное оборудование, до докторов наук. Исследователи-фундаменталисты, обученные разрабатывать и доказывать новые теории, модели и алгоритмы для роботов следующего поколения. Чтобы подготовить лучшую рабочую силу, образовательные возможности должны быть широко доступны. Дорожная карта для рабочей силы следующего

5 лет: в каждой государственной средней школе США есть программа робототехники, доступная после школы. Программа включает в себя различные информационные и конкурсные мероприятия во время каждой сессии, а учащиеся получают признание, равное с другими популярными внеклассными мероприятиями.

10 лет: в дополнение к 5-летней цели каждый четырехлетний колледж и университет предлагает специализацию по робототехнике для получения многих степеней бакалавра, магистратуры и доктора философии.

15 лет: Число отечественных аспирантов всех уровней, обучающихся в робототехнике, вдвое больше, чем в 2008 году. Действуют десять одобренных ABET программ бакалавриата по робототехнике и 10 программ докторантуры по робототехнике.

4. Исследования и разработки: перспективные направления

Достижение критически важных возможностей, описанных в разделе 3 выше и перечисленных в центральном столбце рисунка 1, требует фундаментальных исследований и разработок технологий, перечисленных в левом столбце рисунка 1. Эти технологии блестяще мотивированы и описаны ниже вместе с многообещающими направлениями исследований. Примечание. что каждый из них поддерживает более одной критически важной возможности. Например, технология «Восприятие» напрямую влияет на «Работу в неструктурированной среде», «Исследование опасных роботов, работающих с людьми», «Автономную навигацию» и «Ловкие манипуляторы, подобные человеческим».

4.1. Обучение и адаптация

Одним из самых больших препятствий для использования роботов на заводах является высокая стоимость проектирования рабочих мест, т.е. проектирования, изготовления и установки приспособлений, приспособлений, конвейеров и датчиков сторонних производителей.

программное обеспечение. Эти инженерные затраты обычно в несколько раз превышают стоимость нового роботизированного оборудования. Роботы должны иметь возможность выполнять свои задачи в условиях большей неопределенности, чем могут выдержать современные системы. Один из возможных способов добиться этого — обучение посредством демонстрации. В этом случае человек выполняет задачу несколько раз без инженерной среды, пока робот не наблюдает. Затем робот учится имитировать человека, неоднократно безопасно выполняя одну и ту же задачу, и сравнивает свои действия и результаты задач с действиями человека. Роботы также могут адаптироваться, отсоединяя свои действия с номинальными параметризованными представлениями задач и корректируя параметры для оптимизации своей производительности.

4.2. Моделирование, анализ, симуляция и контроль

Моделирование, анализ, симуляция и контроль необходимы для понимания сложных систем, таких как производственные системы. Будущим производственным системам потребуются модели деталей или узлов, подвергнутых непрерывному контакту, гибкие листовые материалы, связанные замкнутыми цепями, системы с изменяющейся кинематической топологией и соответствующая физика на микро- и наномасштабах. Чтобы использовать их для разработки и улучшения производственных систем, модели и полученные методы моделирования должны быть экспериментально проверены и объединены с методами исследования и оптимизации. Благодаря усовершенствованным моделям и методам моделирования, а также усовершенствованным высокпроизводительным вычислениям мы можем моделировать все аспекты производственных систем: от добычи сырья до производства деталей, сборки и испытаний.

4.3. Формальные методы

В некоторых областях математические модели и инструменты логики использовались для определения, разработки и проверки программных и аппаратных систем. Независимо от стоимости применения эти формальные методы использовались в значительных производственных процессах, прежде всего, когда целостность системы имеет первостепенное значение, например, в космических кораблях и коммерческих самолетах. Однако это не единственная причина, которая препятствует широкому использованию формальных методов при разработке производственных (и многих других инженерных) систем. Недостаточное использование также связано с ограничениями структуры для представления важных производственных операций, таких как сборка деталей, которые можно расматривать как гибридные системы с ограничениями дискретно-непрерывной нелинейной неравенствами многих непрерывных переменных.

4.4. Контроль и планирование

Роботам будущего потребуются более совершенные алгоритмы управления и планирования, способные работать с системами с большей неопределенностью, более широкими допусками и большим количеством степеней свободы, чем могут обрабатывать нынешние системы. Нам, вероятно, понадобятся роботы-манипуляторы на мобильных базах, конечные рабочие органы которых можно будет расположить достаточно точно для выполнения задач по манипулированию, несмотря на то, что база не будет жестко прикреплена к полу. Эти роботы могут иметь в общей сложности 12 степеней свободы. Другой крайностью являются антропоморфные роботы-гуманоиды, которые могут иметь до 60 степеней свободы. Новые мощные методы планирования, возможно, сочетающие новые методы математической топологии и новейшие методы планирования на основе выборки, могут обеспечить эффективный поиск в соответствующих многомерных пространствах.

4.5. Восприятие

Будущим фабричным роботам потребуются значительно улучшенные системы восприятия, чтобы отсчитывать ход выполнения своих задач и задач окружающих. Помимо мониторинга задач, роботы должны иметь возможность проверять узлы и компоненты продукта в режиме реального времени, чтобы не тратить время и деньги на продукты с несоответствующими спецификациями деталями. Они также должны уметь оценивать эмоциональное и физическое состояние человека, поскольку эта информация необходима для поддержания максимальной продуктивности. Для этого им нужны более совершенные тактильные и силовые датчики, а также более совершенные методы понимания изображений. Важными задачами являются неинвазивные биометрические датчики и пригодные для использования модели человеческого поведения и эмоций.

Высокая стоимость проектирования рабочих мест обусловлена главным образом необходимостью уменьшить неопределенность. Чтобы уменьшить эти затраты, роботы должны быть способны устранять неопределенность с помощью датчиков высокой идеальности или действий, которые уменьшают неопределенность. Датчики должны иметь возможность создавать инженерные и физические модели деталей, критически важных для задачи сборки, и отсчитывать ход выполнения задачи. Если эту задачу частично или полностью выполняет человек, то неинвазивные биометрические датчики также должны определять состояние человека. Действия по загрузке и стратегии сборки, которые ранее основывались на дорогостоящих инструментах, должны быть переработаны, чтобы они использовали преимущества соответствия для устранения неопределенности.

4.6. Новые механизмы и высокопроизводительные приводы

Усовершенствованные механизмы и приводы, как правило, приводят к созданию роботов с улучшенными характеристиками, поэтому по этим темам необходимы фундаментальные исследования. Однако, поскольку робототехника применяется в приложениях в новых областях, таких как манипулирование деталями на нано- и микромасштабах, в средах, чувствительных к материалам, например, в средах, окружающих МРТ-сканеры, и в средах, совместно используемых людьми, конструкция (включая выбор материалов) приводов и механизмов придется переосмыслить. Новые механизмы увеличения человеческого потенциала включают экзоскелеты, умные протезы и пассивные устройства. Эти системы потребуют высокой отношения прочности к весу, приводов с низким уровнем выбросов (включая шум и электромагнитные помехи), а также естественных интерфейсов между человеком и механизмами.

4.7. Взаимодействие человека и робота

Роботы на фабриках будущего будут находиться в физическом контакте с людьми и другими роботами, если не напрямую, то посредством захвата объекта обоими одновременно. Также может произойти случайный контакт. Когда роботы сотрудничают с людьми, они должны иметь возможность распознавать действия человека, чтобы поддерживать правильную синхронизацию задач. Наконец, роботы должны иметь возможность общаться с людьми разными способами; Вербально и невербально, и их должно быть легко тренировать. Эти ситуации предполагают необходимость в новых сенсорных системах с более высокой полосой пропускания и разрешением, чем те, которые доступны сегодня при использовании сенсорных систем, которые собирают биометрические данные о рабочих людях, которые ранее игнорировались при управлении роботами, а также в разработке безопасных роботов с отказоустойчивостью. Безопасные операционные системы и инструменты для проверки безопасности и правильности программ роботов.

4.8. Архитектура и представления

Новые производственные роботы должны быть достаточно умными, чтобы продуктивно делиться опытом с людьми и другими роботами, а также учиться повышать свою эффективность с помощью опыта. Чтобы поддерживать такое обучение, операционные системы роботов, а также лежащие в их основе модели и алгоритмы должны быть достаточно выразительными и правильно структурированными. Им понадобятся способности представления различных навыков манипулирования и соответствующих физических свойств окружающей среды, чтобы учесть их влияние на выполнение задач. Там должен быть

непрерывные петли восприятия действий низкого уровня, связи которых контролируются расхождением выскокого уровня. Роботы будут использовать гибкие и богатые представления навыков в сочетании с наблюдением за людьми и другими роботами для автономного изучения новых навыков. Роботам потребуются новые методы представления неопределенностей окружающей среды и задач мониторинга, которые облегчат восстановление ошибок и повышение квалификации на основе этих ошибок.

5. Ссылки

[BEA07] Бюро экономического анализа, Пресс-релиз Министерства торговли США, 24 апреля 2007 г. www.bea.gov/newsreleases/industry/gdpindustry/2007/gdpind06.htm.

[CoC08] Совет по конкурентоспособности, Программа конкурентоспособности – новые вызовы, новые ответы, ноябрь 2008 г., (www.compete.org)

[DoC04] Министерство торговли США, Производство в Америке, январь 2004 г. (ISBN 0-16-068028-X).

[E07] Информационный бюллетень по США, The Economist, июнь 2007 г.

[EF 06] Фукс, Э. Влияние прибрежного производства на пути развития технологий в автомобильной и оптоэлектронной промышленности. Кандидат наук. Тезис. Массачусетский технологический институт, Кембридж, Массачусетс: 2006.

[GK07] Голдберг, К., Кумар, В., «Сделано в США» можно возродить, San Jose Mercury News: Op Ed, 24, октябрь 2007 г.

[NAE07] Поднявшись над надвигающейся бурей: активизация и использование Америки для светлого экономического будущего, Национальная инженерная академия 2007 г.

[WB06] Где богатство народов? Международный банк реконструкции и развития Всемирный банк, 2006 г.

6. Учас тники

Этот отчет ос нован на презентац иях и дис кус с иях на семинаре по робототех нике производс тва и автоматизац ии, который с ос тоялс я 17 ию ня 2008 г ода в Вашинг тоне, округ Колумбия. Отчет являетс я частью ис с ледования CCC по робототех нике. Конс орц иум компью терног о с ообщес тва (CCC) — это проект, управляемый Ас соц иац ией компью терных ис с ледований (CRA) и с понс ируемый Нац иональным научным фондом (NSF). Нас тоящий отчет подг отовлен орг анизаторами семинара и не обявательно отражает мнение CRA, CCC или NSF. Ответс твеннос ть за отчет полнос тью лежит на авторах .

Орг анизаторами семинара были Х енрик Крис тенс ен, Кен Голдберг , Виджай Кумар и Дже фф Тринкль. В семинаре приняли учас тие предс тавители научных круг ов и промышленнос ти, как показано в спис ке учас тников ниже:

Том Батц инг ер GE	Кен Голдберг Калифорнийский университет в Беркли	Тодд Мерфи Колорадо
Костас Бекрис УНРено	Том Х ендерс он Юга	Ричард Алан Питерс Вандербильт
Карл Боринг ер UW	Уильям Джойнер Полупроводниковые ис с ледования Корпорация	С тю арт Ше гард КУКА
Джо Бордонья Упенн	Лидия Каварак и URice	С анджив Синг х КМУ
Гэри Брадс ки Ивовый г араж	Клинт Келли Технологический институт Джорджии (бывший SAIC)	Ларри С вит C&S Whole Grocers
Оливер Брок Массачусеттский университет	Алонзо Келли КМУ	Дже фф Тринкль ИРЦ
Дже фф Бернштейн РИА	Виджай Кумар Упенн	Дже йс он Цай ФАНУК
Томас Фульбриг ге АББ, Инк .	Динеш Маноча UNC	Дже ймс Уэллс ГМ
Х енрик Крис тенс ен Технологический институт Джорджии	Эндрю МакКаллум Массачусеттский университет	Питер Ворман Кива Системы
Роджер Ис тман Лойола	Питер Мос терман Математические работы	Том Й орио Корнинг
Аарон Эдс инг ер Мека	Е лена Мес с ина НИСТ	Минджун Ч жан ЮГК
Эрика Фукс КМУ		

Глава 2

Дорожная карта исследований в области медицины и Здравоохранение Робототехника

Управляющее резюме

Мотивация и масштаб

Несколько основных социальных факторов улучшения доступа к медицинской помощи, ее доступности, качества и персонализации, которые можно устранить с помощью роботизированных технологий. Существующие медицинские процедуры могут быть улучшены и разработаны новые, которые будут менее инвазивными и будут вызывать меньше побочных эффектов, что приведет к сокращению времени восстановления и повышению производительности труда, что существенно улучшит соотношение риска, так и выгоды и затрат. Медицинская робототехника уже добилась большого успеха в нескольких областях хирургии, включая операции на простате и сердце. Роботы также используются для реабилитации и в интеллектуальных процедурах, помогающих людям восстановить утраченные функции. Телемедицина и методы ассистивной робототехники позволяют обеспечить оказание медицинской помощи в труднодоступных местах: от сельских районов, где отсутствуют специальные знания, до районов после стихийных бедствий и боевых действий. Усиливая социальную-вспомогательной робототехнике направлены на разработку доступных домашних технологий для мониторинга, обучения и мотивации как когнитивных, так и физических упражнений, направленных на удовлетворение широкого спектра потребностей: от профилактики до реабилитации и с одес-тия интеграции в общество. Поскольку стареющее население является доминирующей демографической группой, разрабатываются технологии робототехники, способствующие старению на месте (т.е. дома), задерживающие начало деменции и обеспечивающие общение для смягчения изоляции и депрессии. Кроме того, методы робототехники и моделирования активности могут сыграть ключевую роль в улучшении раннего скрининга, непрерывной оценки, а также персонализированного, эффективного и доступного вмешательства и терапии.

Все вышеперечисленные меры будут иметь эффект сокращения и повышения производительности рабочей силы и увеличения ее численности, а также позволят людям с ограниченными возможностями, число которых растет, вернуться (вернуться) на рынок труда. Сегодня США являются лидером в области роботизированной хирургии и социально-ассистирующей робототехники для обеспечения полного качества жизни, ориентированной на группы населения с особыми потребностями и пожилых людей. Однако другие страны быстро следуют за ними, уже осознавая необходимость переклассификации таких технологий.

Поделиться ЯАК ц ии

В состав участников семинара вошли эксперты в областях хирургической робототехники, протезирования, имплантатов, реабилитационной робототехники и социально-асистивной робототехники, а также представители различных отраслей промышленности, от крупных корпораций до стартапов, а также представители сообществ поставщиков медицинских услуг. Все участники поделились мнениями из своих сообществ и областей знаний; Было выявлено множество общих интересов и проблем, что послужило основой для разработки дорожной карты.

Результаты семинара

Спектр ниш роботизированных систем в медицине и здравоохранении охватывает широкий спектр (от операционной до семейной комнаты), групп пользователей (от очень молодых до очень старых, от интимных до трудоспособных, от типично разработанных для людей с физическими и/или когнитивными нарушениями), а также с точки зрения взаимодействия (от практической хирургии до амбулаторного обучения по реабилитации). Технические проблемы возрастают по мере усложнения сценариев, задач и возможностей пользователя. Следующие проблемные области были определены как области с наибольшим прогнозируемым воздействием: хирургия и вмешательство; замена уменьшенной/утраченной функции; восстановление и реабилитация поведенческой терапии персонализированной поддержки группами населения с особыми потребностями; а также благополучие и укрепление здоровья. Эти проблемные области включали следующий набор технологических и исследовательских задач: интуитивное взаимодействие и интерфейс человека и робота; автоматизированное понимание поведения человека; автоматизированное понимание эмоционального и физиологического состояния; долгосрочная адаптация к меняющимся потребностям пользователя; количественная диагностика; оценка руководства, соответствующего контексту; вмешательство под визуальным контролем; высокая локаторная манипуляция в любом масштабе; автоматизированный сбор данных о состоянии здоровья на основе датчиков; и безопасное поведение роботов. Кроме того, были выявлены ключевые проблемы внедрения технологий, в том числе: надежная и непрерывная работа в среде обитания человека; конфиденциальность, безопасность, совместимость, приемлемость и доверие. Отсутствие финансирования междисциплинарных интегративных проектов, которые объединяют знания в области инженерии, здравоохранения (и бизнеса), а также разрабатывают и оценивают полные системы в исследованиях, было определено как причина отсутствия критической массы новых, протестированных и внедренных технологических инноваций, продукты и предприятия для создания отрасли.

1. Введение

1.1. Определение поля/домена

Роботы стали обычным явлением в мире производства и другого повторяющегося труда. В то время как промышленные роботы были разработаны в первую очередь для автоматизации грязных, скучных и опасных задач, медицинские и медицинские роботы предназначены для совершенно других классов задач — тех, которые предполагают прямое взаимодействие с людьми, в хирургическом отделении, реабилитационном центре и в семье, в комнате.

Робототехника уже начинает влиять на здравоохранение. Телеоперационные системы, такие как хирургическая система да Винчи, используются для проведения операций, что приводит к сокращению времени восстановления и более надежным результатам некоторых процедур. Использование робототехники как части компьютерно-интегрированной хирургической системы позволяет проводить точные и целенаправленные медицинские вмешательства. Было высказано предположение, что хирургия и интервенционная радиология претерпят трансформацию благодаря интеграции компьютеров и робототехники, во многом так же, как несколько десятилетий назад автоматизация произвела революцию в производстве. Тактильные устройства, разнообразие робототехники, уже используются для моделирования при обучении медицинских специалистов персонала.

Роботизированные системы, такие как MIT-Manus (коммерческое название InMotion), успешно применяют физическую и трудотерапию. Роботы позволяют повысить интенсивность лечения, которое можно точно адаптировать к потребностям пациента. Они уже доказали свою эффективность, чем традиционные подходы, особенно в плане соблюдения постановлений после инсульта, основной причины постоянной инвалидности в США. Будущий потенциал роботов для выздоровления и реабилитации еще больше. Эксперименты также продемонстрировали, что роботизированные системы могут обеспечивать надзорную терапию, обучение и мотивацию, дополняя уход за людьми при минимальном надзоре со стороны терапевтов или вообще без него, а также могут продолжать долгосрочную терапию в домашних условиях после госпитализации. Такие системы также обладают потенциалом в качестве инструментов вмешательства и терапии поведенческих расстройств, включая такие распространенные расстройства, как расстройства аутистического спектра, СДВГ и другие, распространенные сегодня среди детей.

Технологии робототехники также играют роль в расширении фундаментальных исследований в области здоровья человека. Возможность создать роботизированную систему, имитирующую биологию, — это один из способов изучить и проверить, как функционирует человеческое тело и мозг. Кроме того, роботов можно использовать для получения данных из биологических систем с беспрецедентной точностью, что позволит нам получить количественную информацию как о физическом, так и о социальном поведении.

Таким образом, спектр ниш роботизированных систем в медицине и здравоохранении охватывает широкий спектр (от операционной до семейной комнаты), групп пользователей (от очень молодых до очень старых, от слабых до трудоспособных, от обычно разрабатываемых для людей с физическими и/или когнитивными нарушениями), а также с разными взаимодействиями (от практической хирургии до амосотельного коучинга по реабилитации).

Технологические достижения в области робототехники имеют явный потенциал для стимулирования разработки новых методов лечения широкого спектра заболеваний и расстройств, улучшения стандартов и доступности медицинской помощи, а также улучшения показателей здоровья пациентов.

1.2. Социальные драйверы

Существует множество социальных факторов, способствующих улучшению здравоохранения, которые можно усилить с помощью роботизированных технологий. Эти движущие силы в целом делятся на две категории: расширение доступа к здравоохранению и улучшение профилактики и улучшения результатов лечения пациентов.

Существующие медицинские процедуры можно улучшить, чтобы они стали менее инвазивными и вызывали меньше побочных эффектов, что приведет к сокращению времени восстановления и повышению производительности труда работников. Революционные усилия направлены на разработку новых медицинских процедур и устройств, таких как микроимплатные вмешательства и умные протезы, которые существенно улучшат соотношение риска и выгоды, а также соотношение затрат и выгоды. Более эффективные методы обучения практикующих врачей позволяют снизить количество медицинских ошибок. Этой цели также способствуют объективные подходы к подотчетности и сертификации/оценке. В идеале все эти улучшения позволили бы снизить затраты общества за счет снижения воздействия на семьи, лиц, осуществляющих уход, и работодателей. Говоря более конкретно, затраты на здравоохранение будут снижены за счет улучшения качества (меньшее количество осложнений, более короткое пребывание в больнице и повышение эффективности).

Необходимо учитывать демографические факторы, связанные с экономикой. В Соединенных Штатах более 15% населения не застраховано [Census: Income, Poverty, and Health Insurance Coverage in the United States: 2007]; многие другие недостатки застрахованы. Такая ситуация не позволяет людям получать необходимую медицинскую помощь, что иногда приводит к потере функций или даже жизни, а также не позволяет пациентам обращаться за профилактическим или ранним лечением, что приводит к усугублению проблем со здоровьем. Доступ к медицинской помощи с самым непосредственным образом связан с ее ценовой доступностью. Доступ к физическим и интерактивным терапевтическим роботам обещает снизить стоимость клинической реабилитации и является предметом текущего исследования Администрацией по делам ветеранов их экономической эффективности. Усилия по социально-восстановительной робототехнике направлены на разработку методов, которые могли бы обеспечить доступные домашние технологии для мотивации и тренировки упражнений как для профилактики, так и для реабилитации. Это также многообещающая область для технологий ухода за пожилыми людьми,

с одействие старению на месте (т. е. дома), мотивация когнитивных и физических упражнений для отсрочки наступления деменции и обеспечения дружеского общения для смягчения изоляции и депрессии.

Доступ к медицинскому обслуживанию также зависит от местоположения. Когда происходит стихийное бедствие, в результате которого люди получают травмы, состояние и неструктурированная окружающая среда становятся препятствиями для оказания помощи на месте и удаления пострадавших с места происшествия. Это неоднократно демонстрировалось как в природных катаклизмах (таких как землетрясения и ураганы), так и в техногенных катастрофах (таких как террористические атаки). Подобные проблемы возникают на поле боя. Оказание медицинской помощи на месте травмы необходимо для спасения жизней многих военнослужащих. Некоторые среды, такие как космос, подводные и подземные условия (для горнодобывающей промышленности), по своей сути далеки от медицинского персонала. Наконец, сельское население может жить непомерно далеко от медицинских центров, оказывающих специализированную медицинскую помощь. Телемедицина и ассистивная робототехника могут обеспечить доступ к лечению для людей за пределами населенных пунктов и в случае стихийных бедствий.

Демографические факторы указывают на растущую потребность в улучшении доступа и качества медицинской помощи. Демографические исследования показывают, что население США переживет период значительного старения населения в течение следующих нескольких десятилетий. В частности, к 2030 году в США число пожилых людей увеличится примерно на 40%. В Японии число людей старше 65 лет удвоится, в Европе — на 50%, а в США — ~40% увеличение числа пожилых людей к 2030 году. Число людей в возрасте старше 80 лет увеличится более чем на 100% на всех континентах. Достижения медицины увеличили продолжительность жизни, а это в сочетании с снижением рождаемости приведет к старению общества в целом. Эта демографическая тенденция окажет значительное влияние на промышленное производство, жилищное строительство, непрерывное образование и здравоохранение.

С возрастом населения связано увеличение распространенности травм, расстройств и заболеваний.

Кроме того, тенденции в области здравоохранения во всех возрастных группах указывают на увеличение числа заболеваний на протяжении всей жизни, включая диабет, аутизм, ожирение и рак. По оценкам Американского онкологического общества, в 2008 году в США будет выявлено 1 437 180 новых случаев рака (включая наиболее распространенные формы рака кожи). Кроме того, вероятно развитие инвазивного рака значительно увеличивается с возрастом [ACS Cancer Facts and цифры, 2008].

Эти тенденции вызывают растущую потребность в персонализированном медицинском обслуживании. Например, текущий уровень новых инсультов составляет 750 000 в год, и ожидается, что в ближайшие два десятилетия это число удвоится.

Пациенты, перенесшие инсульт, должны пройти интенсивную реабилитацию, чтобы попытаться восстановить функции и вести к минимуму необратимую инвалидность. Однако уже существует нехватка подготавливающих физиотерапевтов, а меняющаяся демографическая ситуация указывает на значительный пробел в медицинской помощи в ближайшем будущем. Хотя инсульт наиболее распространен среди пожилых пациентов, детский церебральный паралич (ДЦП) наиболее распространен среди детей. Ежегодно около 8000 младенцев в диагностируют ХП, а симптомы ХП в США наблюдаются у более чем 760 000 человек. Кроме того, растет число нарушений нервного развития и когнитивных расстройств, включая расстройства аутистического спектра, синдром дефицита внимания, синдром гиперактивности и другие. Только уровень аутизма за последние четверть века увеличился в четыре раза, и сегодня одно из 150 детей диагностировано дефицитом. Улучшение результатов раннего скрининга, диагностики, прозрачного мониторинга и постоянной оценки состояния здоровья приведет к большей экономии средств, равно как и эффективное вмешательство и терапия.

Эти факторы также компенсируют сокращение численности медицинских работников, доступные и недоступные технологические будут способствовать оздоровлению, персонализированному медицинскому обслуживанию и медицинскому обслуживанию на дому.

Таким образом, повышение пожизненной независимости становится ключевым фактором общества. Оно включает в себя повышение способности стареть на месте (т. е. дать пожилым людям возможность оставаться дома дольше, счастливее и здоровее), улучшение мобильности, снижение изоляции и депрессии в любом возрасте (что, в свою очередь, влияет на производительность, затраты на здравоохранение и семейное благополучие), существование. Улучшение ухода и расширение прав и возможностей получателей ухода также способствует обеспечению независимости лиц, осуществляющих уход, которые все чаще нанимаются на работу, и объем такой помощи увеличивается неформально, поскольку экономика медицинского обслуживания на дому является непродуктивной. Непрерывное санитарное просвещение и грамотность будут способствовать профилактике и могут быть дополнены повышением безопасности и мониторингом во избежание ошибок.

лекарства, обеспечить последовательность в приеме лекарств, следить за падениями, отсутствием активности и другими признаками ухудшения состояния.

Все вышеперечисленное имеет эффект схождения и повышения производительности рабочей силы и увеличения ее численности. С уменьшением доступности обслуживания пенсионеров обслуживание людей работает дольше.

Предоставление людям с ограниченными возможностями, число которых растет, возможности трудоустройства (и внесения вклада в социальное обеспечение), также компенсировало бы нынешнее сокращение доступной рабочей силы.

Наконец, схождение технологического лидерства в широкой области здравоохранения является ключевой целью, учитывая численность населения США и его возрастную демографию.

2. Стратегические выводы

2.1. Хирургическая и интервенционная робототехника

Разработка хирургических роботов мотивирована желанием:

- Повысить эффективность процедуры путем объединения информации с действиями в режиме операционной деятельности. палата или интервенционный блок, и
- Преодоление человеческих физических ограничений при проведении хирургических операций и других интервенционных вмешательств. процедура, сходящаяся при этом человеческий контроль над процедурой.

Спустя два десятилетия после первого сообщения о роботизированной хирургической процедуре, хирургические роботы в настоящее время широко используются в операционных и интервенционных кабинетах. Хирургические роботы начинают реализовывать свой потенциал с точки зрения повышения точности и визуализации, а также возможности проведения новых процедур.

Современные роботы, используемые в хирургии, находятся под прямым контролем хирурга, а также сценарии телеоперации, в котором человек-оператор манипулирует главным устройством ввода, а робот на стороне пациента следует за вводом. В отличие от традиционной минимально инвазивной хирургии, роботы позволяют хирургу маневрировать внутри тела, уменьшать движения оператора от обычных размеров человека до очень малых расстояний и обеспечивают очень интуитивную связь между оператором и кончиками инструментов. Хирург может разрезать, прижигать и накладывать швы с точностью, равной или большей, чем та, которая ранее была доступна только при очень инвазивной открытой хирургии. Полная хирургическая рабочая станция включает в себя как роботизированные устройства, так и устройства визуализации в реальном времени для визуализации операционного поля во время операции. Следующее поколение хирургических рабочих станций предлагает широкий спектр компьютерных и физических усовершенствований, таких как зоны запрета вокруг деликатных анатомических структур, бесшовные дисплеи, которые могут размещать огромные объемы соответствующих данных в поле зрения хирурга, а также распознавание хирургических операций. движения и состояние пациента для оценки работоспособности и прогнозирования последствий для здоровья.

Если доступна нужная информация, многие медицинские процедуры можно спланировать заранее и выполнить достаточно предсказуемым образом, при этом человек будет осуществлять контроль над роботом. По аналогии с промышленными производственными системами эту модель часто называют «Хирургическим CAD/CAM» (Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing). Примеры включают подготовку кости для реконструкции суставов в ортопедической хирургии и введение игл в мишень в интервенционной радиологии. В этих случаях уровень «автоматизации» может варьироваться в зависимости от задачи и относительно преимуществ, которое необходимо получить. Например, от робота легко может вскрываться

иглу в пациента, в настоящее время чаще робот управляет направителем иглы, а интервенционный радиолог проталкивает иглу через направитель. По мере совершенствования технологий визуализации, моделирования тканей и управления иглой будущее с истемы, вероятно, станут более высокоинтегрированными и будут активно размещать иглы и терапевтические устройства по путям, которые невозможно достичь, просто нацелив иглопроводник. В этих случаях человек будет определять цель, планировать или утверждать предлагаемый путь и контролировать робота, пока он направляет иглу к цели.

2.2. Роботизированная замена уменьшенной/потерянной функции

Ортопедические и протезные устройства для повышения функциональности или комфорта путем физической помощи конечности с ограниченным движением или контролем или путем замены потерянной или ампутированной конечности. Такие устройства все чаще включают в себя роботизированные функции и нейронную интеграцию.

Ортезы защищают, поддерживают или улучшают функции различных частей тела, обычно лодыжки, стопы, колена и позвоночника. В отличие от роботизированных устройств, традиционные ортезы настраиваются вручную и не могут автоматически изменять уровень или тип помощи по мере роста пациента и изменения его потребностей. Роботизированные ортезы обычно имеют форму экзоскелета, охватывающего соответствующую часть тела. Они должны обеспечивать свободное движение конечностей, обеспечивая при этом необходимую поддержку.

Большинство существующих роботизированных экзоскелетов предназначены для использования в военных целях (например, позволяющие солдатам нести очень тяжелую нагрузку на спине во время бега) и реабилитации в клиниках. Однако эти системы еще недостаточно недороги и надежны для использования пациентами в качестве ортезов.

Протез — это искусственное расширение, которое заменяет функциональность части тела (обычно утраченную в результате травмы или врожденного дефекта) путем соединения механических устройств с мышцами, скелетом и нервной системой человека.

Существующие коммерческие протезные устройства очень ограничены в возможностях (обычно позволяют только открывать/открывать, закрытие захвата), поскольку им синхронизируется движение с механическими или с помощью электромиографии (ЭМГ), которая представляет собой запись электрической активности мышц в неповрежденной части тела). Роботизированные протезы призваны более полно имитировать утраченную конечность или другую часть тела посредством репликации многих суставов и сегментов конечностей (например, 22 степени свободы человеческой руки) и бесшовной нейронной интеграции, которая обеспечивает интуитивное управление конечностью, а также сенсорную обратную связь с пользователем.

За последние несколько лет были достигнуты большие успехи в фундаментальных технологиях и нейробиологии, которые приведут к созданию этих передовых протезов. Необходимы дальнейшие исследования в области робототехники, чтобы значительно улучшить функциональность и снизить стоимость протезов.

2.3. Роботизированное восстановление и реабилитация

Пациент, страдающий нервно-мышечными травмами или заболеваниями, возникающими, например, после инсульта, часто получает пользу от нейрореабилитации. В этом процессе используется взаимодействие с пользователем пластичность нервно-мышечной системы человека, при которой использование меняет свойства нейронов и мышц, включая структуру их связей и, следовательно, их функции. Сенсорно-моторная терапия, при которой пациент совершает движения верхних или нижних конечностей при физической помощи (или с сопротивлением) человека-терапевта или робота, помогает людям заново научиться двигаться. Этот процесс требует много времени и труда, но приносит огромные дивиденды с точки зрения затрат на здравоохранение пациентов и возврата к производительному труду. В качестве альтернативы терапии, проводимой только человеком, робот имеет несколько ключевых преимуществ для вмешательства:

После наработки робот может обеспечивать последовательную, длительную и персонализированную терапию, не утомляя

с помощью датчиков робот может собирать данные для проведения объективной количественной оценки восстановления

- «Робот» может выполнять терапевтические упражнения, что невозможно для человека-терапевта.

Уже есть значительные клинические результаты от использования роботов для переобучения двигательных систем верхних и нижних конечностей у

людей, перенесших неврологические травмы, такие как мозговой инсульт. Эти реабилитационные роботы обеспечивают множество различных форм

механического воздействия, таких как помощь, сопротивление, возмущение и нагрузка, в зависимости от реакции субъекта в реальном времени. Например, коммерчески доступный реабилитационный робот MIT-Manus показал улучшение выздоровления пациентов как с острым, так и с хроническим инсультом. Еще одним интересным следствием сенсорно-моторной терапии с использованием роботов является то, что они могут помочь нейробиологам улучшить общее понимание функций мозга. Благодаря знанию воздействия роботов на пациента и количественной оценке реакции пациентов с повреждением определенных областей мозга роботы могут делать беспрецедентные записи и стимул-реакция. Чтобы оптимизировать автоматизированную реабилитационную терапию, необходимо разработать роботов и провести эксперименты, чтобы выявить взаимосвязь между внешними механическими силами и пластичностью нейронов. Понимание этих взаимосвязей также дает нейробиологам и неврологам понимание функций мозга, что может способствовать фундаментальным исследованиям в этих областях.

Помимо оказания механической/физической помощи в реабилитации, роботы также могут обеспечивать индивидуальную мотивацию и обучение. Социально-аспективная робототехника фокусируется на использовании сенсорных данных от носимых датчиков, камер или других средств восприятия активности пользователя, чтобы предоставлять роботу информацию о пользователе, которая позволяет машине соответствующим образом поощрять и мотивировать упражнения по устойчивому восстановлению. Ранние исследования уже продемонстрировали таких социально-аспектирующих роботов в области реабилитации после инсульта, и они разрабатываются для других областей нейрореабилитации, включая черепно-мозговые травмы, от которых часто страдают ветераны недавней войны и те, кто попал в серьезные дорожно-транспортные происшествия. Помимо долгосрочной реабилитации, такие схемы также могут повлиять на состояние здоровья в период краткосрочного выздоровления, когда назначаются интенсивные режимы. Например, первая система была продемонстрирована в кардиологическом отделении, поощряя обучая пациентов выполнять упражнения по пирометрии десять раз в час. Такие системы могут способствовать не только мультипликатором силы в оказании медицинской помощи, предоставляя больше помощи большему количеству пациентов, но и с редством предоставления персонализированной медицины и ухода, обеспечивая более индивидуальный уход для всех пациентов.

2.4. Поведенческая терапия

Выздоровление, реабилитация и лечение когнитивных, социальных и физических расстройств на протяжении всей жизни требуют постоянной поведенческой терапии, состоящей из физических и/или когнитивных упражнений, которые необходимо выполнять с соответствующей частотой и правильностью. Было показано, что во всех случаях интенсивность тренировок и амплитуда эффективности являются ключом к выздоровлению и минимизации инвалидности. Однако из-за быстрой деградации тенденций многих затронутых групп населения (например, аутизм, СДВГ, инсульт, ЧМТ и т. д., как обсуждалось в разделе 1.2), доступная медицинская помощь необходима для обеспечения наблюдения и обучения такому поведению. терапия уже отстает, и наблюдается устойчивый спад.

Социально-аспективная робототехника (SAR) — это сравнительно новая область робототехники, которая фокусируется на разработке роботов, направленных именно на удовлетворение этой конкретной потребности. SAR разрабатывает системы, способные помогать пользователям с редством социально, а не физическое взаимодействие. Физическое воплощение робота лежит в основе вспомогательной эффективности SAR, поскольку оно использует присущую человеку склонность к реалистичному (но не обязательно человеческому или животному) социальному поведению. Любопытство приписывают намерения, индивидуальность и эмоции даже самым простым роботам, от игрушек LEGO до пылесосов iRobot Roomba. SAR использует это сотрудничество для разработки социально-интерактивных роботов, способных отсуживать, мотивировать, поощрять и поддерживать действия пользователей, а также улучшать производительность человека. Таким образом, SAR имеет потенциал для повышения качества жизни больших групп пользователей, включая

пожилые люди, люди с когнитивными нарушениями, те, кто проходит реабилитацию после инсульта и других нейро моторных нарушений, а также дети с нарушениями социального развития, такими как аутизм. Таким образом, роботы могут помочь улучшить функционирование широкого круга людей, причем не только функционально, но и социально, окатывая усиливая эмоциональную связь между человеком и роботом.

Взаимодействие человека и робота (HRI) для SAR — это растущая область исследований в области инженерии, медицинских наук, психологии, социальных наук и когнитивных наук. Эффективный социально-аспектирующий робот должен понимать окружающую среду и взаимодействовать с ней, демонстрировать социальное поведение, фокусировать свое внимание и общение на пользователе, поддерживать взаимодействие с пользователями и достигать конкретных вспомогательных целей.

Робот может делать все это посредством социального, а не физического взаимодействия, причем безопасным, этичным и эффективным способом для потенциально уязвимого пользователя. Было доказано, что социально-аспектирующие роботы перспективны в качестве терапевтического инструмента для детей, пожилых людей, пациентов, перенесших инсульт, и других групп населения с особыми потребностями, требующих индивидуального подхода.

2.5. Персонализированный уход за людьми с особыми потребностями

Рост групп населения с особыми потребностями, в том числе с физическими, социальными и/или когнитивными нарушениями, которые могут проявляться в развитии, рано проявляясь, быть связанными с возрастом или возникать на любом этапе жизни, свидетельствует о явном растущей потребности в индивидуальных услугах для лиц с особыми потребностями. Некоторые из распространенных нарушений являются врожденными (от рождения), например церебральный паралич и расстройства аутистического спектра, тогда как другие могут возникнуть в любой момент жизни (черепно-мозговая травма, инсульт), а третьи возникают в более позднем возрасте, но с возрастом. увеличение продолжительности жизни (болезнь Паркинсона, деменция и болезнь Альцгеймера). Во всех случаях эти состояния осложняются на протяжении всей жизни и требуют долгосрочной когнитивной и/или физической помощи, связанной с значительными ресурсами и затратами.

Физически и социально-вспомогательные системы описанных выше типов способны напрямую влиять на способность пользователя обрести, восстановить и/или защитить независимость и быть максимально интегрированным в общество. Наиболее важные из них, признанные сегодня, включают мобильность, социальное взаимодействие, независимость и старение на месте.

Средства физической мобильности, начиная от устройств для слепых и заканчивая физическими инвалидами, от высококачественных интеллектуальных инвалидных колясок до более простых самостабилизирующих кресел, расширяют доступ к товарам и услугам, уменьшают изоляцию, вероятность депрессии и потребность в управляемых услугах.

Технологии робототехники обещают решить проблемы мобильности, которые могут обеспечить регулируемый уровень автономии для пользователя, чтобы каждый мог выбирать, от какой степени контроля отказаться, что является ключевым вопросом для общества инвалидов. Интеллектуальные инвалидные коляски, трости-проводники и интерактивные ходунки — это лишь несколько примеров развиваемых областей.

В связи с быстрой стареющей популяцией резкое возрастание потребности в устройствах, которые позволяют людям с физическими ограничениями и ограниченными возможностями продолжать жить независимо в своих домах. Эта потребность дополняется потребностями меньшего, но растущего числа людей с ограниченными физическими возможностями, включая ветеранов войны. Сложные системы, способствующие независимости, такие как машины, помогающие манипулировать и/или передвигаться людьми с тяжелыми формами инвалидности, а также те, которые помогают выполнять сложные задачи, такие как пользование личными туалетами и вставание с постели, все еще находятся на ранних стадиях разработки, но показывают обещание быстрого прогресса. В то же время исследования в области мобильной робототехники продвигают разработку мобильных манипуляционных платформ в сторону машин, способных приносить и доставлять предметы домашнего обихода, открывать двери и в целом облегчать пользователю возможность жить независимо в своем собственном доме. Отсрочка (или устранение, если возможно) необходимости перевода человека в учреждение управляемого медицинского обслуживания значительно снижает затраты и нагрузку на человека, семью и поставщиков медицинских услуг. Это также значительно снижает вероятность изоляции, депрессии и сокращения продолжительности жизни.

Помимо физической/механической помощи, группы населения с особыми потребностями могут получить значительную выгоду от достижений в области социально-аспектирующей робототехники (обсуждаемой в предыдущем разделе), которая обеспечивает персонализированную помощь.

мониторинг, общение и мотивация когнитивным и физическим упражнениям, связанным с укреплением здоровья на протяжении всей жизни.

2.6. Оздоровление/укрепление здоровья

Улучшение профилактики и улучшения результатов лечения пациентов являются широкими и фундаментальными целями здравоохранения. Лучшие, более эффективные и доступные, а также персонализированные способы поощрения людей к правильному питанию, занятиям спортом и поддержанию психического здоровья значительно уменьшили бы количество неотложных и хронических проблем с здоровьем.

Несмотря на всю фундаментальную важность укрепления здоровья уделяется меньше внимания и значительно меньше ресурсов, чем медицинским вмешательствам. Финансирование исследований справедливо направлено на поиск причин и способов лечения болезней и состояний, а не на их профилактику, за исключением исследований вакцин в конкретных областях (например, рак, СПИД). Однако исследования, ориентированные на профилактику, и их результаты могут оказать наиболее существенное влияние на тенденции в области здравоохранения и связанные с этим крупные затраты для общества. Страховые компании особенно заинтересованы в продвижении профилактики и инвестировании в технологии, которые позволяют это делать. Хотя они не имеют возможности поддерживать фундаментальные исследования, они готовы поддерживать оценочные испытания новых технологий, ориентированных на профилактику и укрепление здоровья.

Технологии робототехники разрабатываются для решения проблем укрепления здоровья. Многие из описанных выше достижений также имеют расширение и приложения для оздоровления. В частности, роботизированные системы, которые продвигают, персонализируют и тренируют упражнения, будь то посредством оциального или физического взаимодействия, имеют большие потенциальные ниши применения от молодежи до пожилых людей, от трудоспособных до людей с ограниченными возможностями, от любителей до подготовленных спортсменов. Носимые устройства, которые контролируют физиологические реакции и взаимодействуют с роботизированными и компьютерными системами, также могут способствовать созданию персонализированных программ оздоровления и способствовать раннему выявлению и непрерывной оценке нарушений. В этом контексте робототехника предлагает передовые технологии, которые взаимодействуют с существующими системами (например, портативными и настольными компьютерами, носимыми устройствами, домашними датчиками и т. д.), чтобы использовать достижения в различных областях и создавать широкий спектр полезных технологий для улучшения качества жизни (QoL).

3. Ключевые проблемы и возможности

3.1. Мотивирующие примерные сценарии

3.1.1. Хирургия и вмешательство

Предоперационное изображение или анализ крови указывают на то, что у пациента может быть рак внутреннего органа. Пациенту делают магнитно-резонансную томографию (МРТ), на основании которой подтверждается наличие раковой ткани. На основе просканированной раковой опухоли, выявленной с помощью обработки изображений и моделей тканей, определяется оптимальный хирургический план. Хирург использует минимально инвазивный телеуправляемый робот, совместимый с МРТ, для удаления раковых тканей. Робот уверен в своей ловкости, что операцию можно провести через естественное отверстие, поэтому у пациента не делается никаких внешних порезов. Во время процедуры хирург видит изображения в реальном времени, руководствуется хирургическим планом и получает тактильную обратную связь.

чтобы обеспечить пальпацию и соответствующее приложение сил к тканям. Раковая ткань удаляется очень небольшим запасом, и пациент быстро выздоравливает с небольшой болью и без рубцов.

3.1.2. Замена уменьшенной/потерянной функции

Молодой человек в результате несчастного случая теряет верхнюю конечность. Роботизированный протез с ловкой рукой, повторяющий функциональность утраченной конечности, изготавливается индивидуально для пациента посредством медицинской визуализации, быстрого прототипирования и роботизированной сборки. Протез беспрестанно управляется мыслями пациента с использованием минимально или неинвазивного интерфейса «мозг-машина». Пациент может контролировать все суставы своей искусственной руки и получает мультимодальную сенсорную обратную связь (например, силу, текстуру, температуру), что позволяет ей естественным образом взаимодействовать с окружающей средой. Особое значение для пользователя имеет осознание движения конечности даже в темноте, ощущение тепла руки близкого человека и возможность выполнять сложные манипуляционные задачи, такие как завязывание шнурков на ботинках.

3.1.3. Восстановление и реабилитация

Спустя годы после инсульта пациент все еще не может выполнять повседневные задачи и начинает роботизированную терапию в клинике. Роботизированное устройство точно применяет необходимые силы, чтобы помочь пациенту совершать соответствующие движения конечностями, даже иногда сопротивляясь движению пациента, чтобы помочь ему научиться совершать корректирующие движения. Данные записываются на протяжении всей терапии, что позволяет как терапевту, так и роботизированной системе рекомендовать оптимальные стратегии терапии, постоянно обновляемые с учетом изменения показателей пациента. Этот точный целенаправленный процесс реабилитации обеспечивает пациенту более устойчивый, повторяемый и естественный контроль конечностей. Одновременно нейробиологам и неврологам предоставляются данные, помогающие понять механизмы дефицита. За пределами клиники домашняя роботизированная медицина/Тренер продолжает работать с пациентом, чтобы мотивировать и продемонстрировать авторитет и компетентность, но сохраняет автономию пользователя, мотивируя при этом продолжение упражнений. Это сокращает период выздоровления и помогает пользователю выздороветь.

3.1.4. Поведенческая терапия

Робот работает с ребенком с нарушениями нервно-психического развития (например, расстройствами аутистического спектра и другими), обеспечивая персонализированное обучение общению и социальной интеграции дома. Робот взаимодействует с ребенком социальным образом, соответствующим поведению, включая очередность в игре, совместное внимание, указание пальцем и социальные ссылки. Затем это служит социальным катализатором для игр с другими детьми с начала дома, затем в школьной столовой и, наконец, на игровой площадке. На протяжении всего процесса робот собирает количественные данные о поведении пользователя/пациента, которые могут анализироваться как автоматически, так и поставщиками медицинских услуг для непрерывной оценки и персонализированной терапии/лечения/вмешательства.

3.1.5. Персонализированный уход за людьми с особыми потребностями

Персонализированные роботы предоставляются пожилым людям с физическими и/или умственными недугами (например, болезнью Альцгеймера). деменция, черепно-мозговая травма). Они способны отлеживать активность пользователей (от конкретных задач до общей повседневной жизни) и обеспечивать обучение, мотивацию и поощрение, чтобы свести к минимуму изоляцию и облегчить активность и интеграцию в общество. Роботы могут отправлять беспроводную информацию для вызова опекунов по мере необходимости, а также могут использоваться для постоянной оценки и поиска предупреждающих признаков расстройств или ухудшения состояния (снижение чувствительности равновесия, снижение социального взаимодействия, уменьшение вокализации, отсроченные физические активности, повышенная изоляция от семьи). /друзья и т. д.), которые вызывают необходимость раннего вмешательства.

3.1.6. Оздоровление и укрепление здоровья

Доступные и доступные персонализированные системы, которые контролируют,ощущают и мотивируют формирование желаемых привычек в отношении здоровья включая правильное питание, физические упражнения медицинские осмотры, релаксацию, активное общение и социальное взаимодействие с семьей и друзьями, уход за домашними животными и т. д. Эти роботизированные системы приобретаются так же легко, как и современные персональные компьютеры, легко устанавливаются для пользователя и обеспечивают возможность взаимодействия с другими вычислительными и сенсорными ресурсами пользовательской среды. Например, роботы, которые контролируют объем физической активности пользователя с страдающего диабетом с избыточным весом, чтобы способствовать увеличению физической активности и требуют отчетности о диетических практиках и медицинских осмотрах, обмена с соответствующей обновленной информацией с семьей и поставщиком медицинских услуг, а также с страховой компанией. компания тарифы которой благоприятно адаптируются в ответ на соблюдение здорового и профилактического образа жизни.

3.2. Дорожная карта возможностей

Чтобы решить проблемы здравоохранения отмеченные в разделах 1 и 2, и реализовать захватывающие сценарии, описанные выше в разделе 3.1, мы разработали список основных возможностей, которыми должна обладать роботизированная система для идеальной интеграции в медицинскую и здравоохранение. Эти возможности, в свою очередь, стимулируют исследования технологий, описанных в разделе 4.

3.2.1. Интуитивное физическое взаимодействие человека и робота и интерфейсы

Использование робототехники в медицине по своей сути предполагает физическое взаимодействие между лицами, ощущающими уход пациентами и роботами — во всех комбинациях. Разработка интуитивно понятных физических интерфейсов между людьми и роботами требует всех классических элементов роботизированной системы: сенсорики, восприятия и действий. Требуется большое разнообразие задач позиционирования и восприятия, включая запись движений и сил хирурга, чтобы делать выводы об их намерениях, определение механических параметров человеческих тканей и оценку сил между реабилитационным роботом и движущимся пациентом, перенесшим insult. Взаимный характер взаимодействия означает, что роботу также необходимо будет предоставлять полезную обратную связь человеку-оператору, независимо от того, является ли этот человек лицом, ощущающим уход или пациентом. Нам необходимо рассмотреть системы, которые задействуют множество человеческих чувств, наиболее распространенными из которых являются зрение, тактильные ощущения (сильные и тактильные) и звук.

Основная причина того, почему системы, предполагающие физическое взаимодействие между людьми и роботами, так сложно проектировать, заключается в том, что с точки зрения робота люди крайне неопределенны. В отличие от пасивной, статичной среды, люди регулярно меняют свои движения, силу и непосредственную цель. Это может быть как простое физиологическое движение (например, дыхание пациента во время операции), так и сложное, как движения хирурга, накладывающего швы во время операции. Во время физического взаимодействия роботом человек является неотъемлемой частью замкнутой системы обратной связи, одновременно обмениваясь информацией и энергией с роботизированной системой, и поэтому его нельзя рассматривать просто как вход внешней системы. Кроме того, цикл часто замыкается как человеческим усилием, так и визуальной обратной связью, каждая из которых имеет свои ошибки и задержки — это потенциально может вызвать нестабильность в системе человек-робот. Учитывая эти проблемы, как мы можем гарантировать безопасное, интуитивно понятное и полезное физическое взаимодействие между роботами и людьми? Существует несколько подходов к решению этих проблем, которые можно использовать параллельно: моделирование человека с максимально возможной детализацией, восприятие физического поведения человека в очень большом количестве измерений и разработка поведения робота, которое обеспечивает соответствующее взаимодействие в любых условиях. что делает человек. За последние двадцать лет в этих областях были достигнуты большие успехи, однако до сих пор не существует систем, обеспечивающих пользователю идеальный опыт физического взаимодействия с роботом. 5-, 10- и 15-летние цели для этого потенциала сфокусированы на

Нам необходимо рассмотреть системы, которые задействуют множество человеческих чувств.

Возрастающая ложность и неопределенность поставленной задачи.

- Через 5 лет «роботы» должны быть способны иметь «сложное» понимание «желаемого человека».

Движение на основе внешних датчиков и интерфейсов «мозг-машина». Это особенно важно для проектирования протезов и требует соответствующего сопоставления человеческих мыслей и действий роботизированного протеза конечности.

- Через 10 лет, ощущая движения человека и делая выводы о его намерениях, роботы должны быть в состоянии обеспечивать»

Сопоставляющие контексту или для человека-оператора, например, пациент на реабилитацию, использующий робота для восстановления функций и сил конечностей после инсульта. Ощущая движения человека и определяя намерение, робот должен ограничивать приложенную силу или движение до уровней, которые являются полезными и интуитивно понятными для пользователя.

- Через 15 лет «робототехнические» системы должны быть способны обеспечить «полный» набор «физической» обратной связи для человек-оператор, в частности, соответствующая тактильная обратная связь. Хирург или лицо, осуществляющее уход, должно иметь возможность чувствовать силы, детальную текстуру поверхностей и другие физические свойства удаленного пациента. Система должна быть полностью захватывающей и функционировать в любом масштабе.

3.2.2. Автоматизированное понимание человеческого поведения

Понимание действий и намерений пользователя является необходимым компонентом взаимодействия человека с машиной и, следовательно, человека с роботом, чтобы реагировать соответствующим образом, своевременно и безопасно. Эффективные системы здравоохранения должны быть способны воспринимать окружающую среду и пользователя. Поскольку человеческая деятельность сложна и непредсказуема, а восприятие, особенно на зрение, является постоянной проблемой в робототехнике, автоматизированное восприятие и понимание человеческого поведения требует интеграции данных от множества датчиков, в том числе датчиков на роботе, в окружающей среде и изношен пользователем. В стадии разработки находятся системы слежения алгоритмов онлайн-интеграции мультимодальных датчиков в режиме реального времени, включая применение статистических методов для моделирования пользователей на основе мультимодальных данных. Распознавание и классификация человеческой деятельности и намерений представляют собой интерес, поскольку позволяют взаимодействовать с пользователем и оказывать ему помощь в режиме реального времени. Системы HRI будут приняты только в том случае, если они реагируют на запросы пользователя в сроки, которые пользователь считает разумными (т.е. система не может отвечать слишком долго и не может реагировать неправильно слишком часто). Современные методы мультимодального восприятия используют различные средства упрощения ложных задач распознавания объектов и людей реального мира, а также распознавания и классификации действий. Например, в последние годы использовались цветные и светоотражающие маркеры, штрих-коды и метки радиочастотной идентификации, и все это требует определенного уровня оснащения окружающей среды.

Сведение к минимуму такого оборудования и обеспечение его неинтрузивности является необходимым аспектом приемлемости технологий.

Ключевые области прогресса и перспективы включают в себя (1) использование физиологического зондирования в качестве аналога стандартного зондирования на работе и в окружающей среде, на котором эта область сосредоточена до сих пор; (2) усиление, обработка и использование мультимодальных датчиков на борту, в окружающей среде и на пользователе для HRI в реальном времени; и (3) понимание аффекта/эмоций пользователя.

- Через 5 лет роботы должны быть в состоянии иметь возможность захватывать с помощью инструментов человеческое поведение».

(с помощью носимых маркеров) в контролируемых средах (например, сеансы физиотерапии, кабинеты врача) с известной структурой и ожидаемым характером взаимодействий. Алгоритмы должны иметь возможность использовать неопределенные и зашумленные данные таких сеансов для разработки моделей пользователя и взаимодействий.

- Через 10 лет роботы должны быть способны автоматически классифицировать поведение человека от «незначительного».

пользователи с инструментами (легкие датчики) в менее структурированных условиях (например, в кабинетах врачей и домах с менее известной структурой) визуализируют эти данные для пользователя и поставщика медицинских услуг и классифицируют деятельность на запрещенные упражнения и другие виды деятельности для обучения.

производительность. Методы онлайн-моделирования должны позволять классифицировать наблюдаемую активность и прогнозировать действия пользователя предсказуемо с разумным уровнем точности.

«Через 15 лет роботизированные системы должны быть способны обнаруживать, классифицировать, прогнозировать и обеспечивать обучение» человеческой деятельности в известном широком контексте (например, упражнения, работа в офисе, одевание и т. д.). Система должна быть способна предоставлять интуитивно визуализированные данные для каждого пользователя, которые будут различаться в зависимости от потребностей пользователя (например, врачу потребуется детальная оценка двигательной активности, опекуну — последовательность и точность выполнения упражнений, пользователю — «оценка» занятия и некоторые полезные советы по улучшению и т. д.).

3.2.3. Автоматизированное понимание эмоционального и физиологического состояния

Способность автоматически распознавать эмоциональные состояния пользователей для поддержки соответствующего персонализированного поведения роботов имеет решающее значение для повышения эффективности персонализированной робототехники, особенно для приложений, связанных со здоровьем, в которых участвуют уязвимые пользователи. Распознавание эмоций изучалось по голосу и речевым сигналам, данным лицам и физиологическим данным. Учитывая сложность проблемы, понимание, моделирование и классификация эмоций напрямую выигрывают от совокупности перечисленных выше областей: распознавание активности, обработка физиологических данных и мультимодальное восприятие. Понимание эмоций требует обработки мультимедийных данных от пользователя и тренировки соответствующих (например, между вербальными и невербальными сигналами). Несовпадение таких сигналов может быть с толку получателем аналогично, человеческое восприятие синтетических мультимедийных выражений эмоций (например, на воплощенных роботах, оснащенных шарнирными лицами, голосами и телами) еще недостаточно изучено и заслуживает углубленного исследования для обоснования принципиального проектирования системы. Симпатии широко признаны в здравоохранении: врачи, которых считают чувствующими, считаются наиболее компетентными и имеют наименьшее количество судебных исков. Создание эмпатии в синтетических системах — это лишь одна из задач восприятия и выражения эмоций. Более того, ранние работы в области социальности-асистированной робототехники уже продемонстрировали, что выражение личности, связанное с эмоциями, является мощным инструментом для обучения и стимулирования желаемого поведения пользователя системы реабилитации. Поскольку известно, что личность влияет на состояние здоровья с помощью восприятия, моделировать и выражать ее связанные с ней эмоции является важным аспектом взаимодействия человека и машины, направленным на улучшение здоровья и качества жизни человека.

Создание эмпатии в синтетических системах — лишь одна из задач.

Физиологические данные, такие как показатели разочарования, усталости и интереса, имеют неоценимое значение для понимания состояния пользователя и позволяют роботам и машинам в целом помогать пользователю и оптимизировать производительность. Датчики физиологических данных обычно предоставляют с носимых датчиков и устройств, которые в режиме реального времени предоставляют физиологические сигналы (например, частоту сердечных сокращений, кожно-гальваническую реакцию, температуру тела и т. д.). Эти сигналы очень индивидуализированы и обычно ложны для интуитивной визуализации и полезного анализа. Активные исследования в этой области направлены на изучение методов извлечения таких показателей, как разочарование и значимость по отношению к внешней активности, из физиологических данных. Исследования также сосредоточены на подключении и доступе к биологическим сигналам с помощью носимых или имплантируемых устройств. Заключением некоторых имплантируемых устройств, легкие носимые датчики с возможностью беспроводной передачи данных и небольшими батареями пока недоступны. Перспективы носимых сенсорных технологий получили широкое признание, и разработки по решению этих проблем продолжают развиваться. Способность собирать физиологические данные простым способом и передавать эти данные компьютеру, роботу или лицу, способствующему уходу, имеет большой потенциал для улучшения оценки состояния здоровья, диагностики, лечения и персонализированной медицины. Такие данные дополняют стандартные датчики робототехники (зрение, лазер, инфракрасное излучение, гидролокатор) и предоставляют бесценные пользовательские данные для моделирования и интеллектуального взаимодействия человека и машины.

Через 5 лет различные носимые устройства должны будут взаимодействовать по беспроводной сети с вспомогательными роботами.

информировать о разработке пользовательских моделей и алгоритмов классификации состояний и действий. Необходимо разработать мультимодальные алгоритмы, которые смогут брать весьма неопределенные визуальные данные и комбинировать их с другими сенсорными данными для классификации эмоциональных состояний.

Через 10 лет появятся меньшие по размеру и более легкие беспроводные носимые датчики, обеспечивающие большую дальность действия физиологические данные должны быть доступны в режиме реального времени в алгоритмах, которые используют популяционные и индивидуальные модели пользователя для обнаружения классификации, а также в некоторой степени прогнозирования физиологического состояния пользователя. Мультимодальные алгоритмы должны получать входные данные от органов зрения и носимых датчиков для беспрепятственной интеграции в целях надежного распознавания физиологического и эмоционального состояния в режиме реального времени.

- «Через 15 лет готовые к использованию беспроводные физиологические сенсорные устройства должны будут взаимодействовать друг с другом». компьютерные и роботизированные системы коучинга, которые могут использовать данные для разработки и применения пользовательских моделей в режиме реального времени для облегчения биологической обратной связи и других форм обратной связи с пользователем, а также классификации физиологического и эмоционального состояния пользователя для облегчения ложного взаимодействия человека и работа и в более общем плане взаимодействия человека и машины.

3.2.4. Долгосрочная адаптация к меняющимся потребностям пользователя

Необходимость в адаптации и обучении системы особенно очевидна в областях взаимодействия человека и робота.

Каждый пользователь имеет особые характеристики, потребности и предпочтения, на которые должна быть настроена система.

Более того, с этими характеристиками, потребностями и предпочтениями могут меняться со временем по мере того, как пользователь привыкает к системе и по мере изменения состояния здоровья пользователя как в краткосрочной перспективе (выздоровление), с реднесрочной перспективе (реабилитация), так и на протяжении всей жизни. (изменения образа жизни, старение). Чтобы быть принятыми, пригодными для использования и эффективными, роботизированные системы, взаимодействующие с пользователями-людьми, должны быть способны адаптироваться и учиться в новых контекстах и в расширенных временных масштабах, в различных средах и контекстах.

Проблемы долгосрочного обучения включают интеграцию мультимодальной информации о пользователе с течением времени, в свете несоответствий и изменений в поведении, а также неожиданных событий. В машинном обучении, включая обучение роботов, все чаще применяются принципиальные статистические методы.

Однако в работе не рассматривались сложности реальных неопределенных данных (зашумленных, неполных и противоречивых), мультимодальных данных о пользователе (начиная от информации об уровне сигнала от тестов, датчиков, электродов и носимых устройств до символической информации из диаграмм, анкет и интервью с пациентами) и долгосрочные данные (за месяцы и годы лечения).

Возможность взаимодействовать с пользователем через интуитивные интерфейсы (жесты, палочки, речь) и учиться на демонстрациях и подражаниях уже некоторое время является темой активных исследований. Они представляют собой новую проблему для долгосрочного взаимодействия в домашних условиях, когда система подвержена обучению и привыканию пользователей, а также уменьшению эффектов новизны и терпения.

Роботизированные системы, взаимодействующие с пользователями-людьми, должны иметь возможность

адаптироваться и учиться

Системы обучения робототехнике еще не прошли по-настоящему долгосрочные исследования (недели и месяцы), а обучение на протяжении всей жизни пока не более чем концепция.

Наконец, поскольку системы обучения, как правило, трудно оценивать и анализировать, особенно важно, чтобы такие персонифицированные, адаптивные технологий были оснащены интуитивно понятными инструментами визуализации состояния их системы, а также с состоянием здоровья пользователя.

Принимая во внимание эти проблемы, идеальная адаптивная обучающая роботизированная система здравоохранения может прогнозировать изменения в состоянии здоровья пациента и соответствующим образом корректировать представление своих услуг; он будет корректировать свои методы для постоянной мотивации, поощрения и обучения пользователя.

сх ранить с вою привлекательность и эффективность, поддерживая вовлечение пользователей в долгосрочной перспективе. Такая система будет иметь количественные показатели для демонстрации положительных результатов в отношении здоровья на основе назначенных медицинских работников методов выздоровления/вмешательства/терапии/профилактики.

- Через 5 лет «адаптивные» и «обучающиеся» системы должны использовать все большее количество «реального» здоровья данных и показать, что они могут работать с такими данными, несмотря на их зашумленный, динамически изменяющийся и сложный характер. Пользовательские модели должны позволять системе адаптироваться к стилю взаимодействия с пользователем для улучшения выполнения пользовательских задач в конкретном контексте (например, при конкретном упражнении).
- Через 10 лет «адаптивные» и «обучающиеся» системы должны быть расширены, чтобы «работать» на «долгосрочных» данных» (месяцы и более) и мультимодальные данные пациентов для более комплексного пользовательского моделирования общего назначения за пределами конкретного контекста (например, от конкретных упражнений до общей повседневной активности).
- Через 15 лет «адаптивные» и «обучающиеся» системы должны стать доступными в виде программного обеспечения на «стандартных» компьютерах с односторонним мониторингом медицинских показателей об облучивания на дому и укреплению здоровья. Получение предоставленных пользователем данных с течением времени и из различных источников, а также информацию о поставке медицинских услуг (например, в рамках процедуры оформления заказа), чтобы продолжать обновлять комплексные модели состояния здоровья пользователя, а также визуализировать и сообщать об этом пользователю, семье, и поставщиков медицинских услуг и использовать их для дальнейшей оптимизации взаимодействия человека и машины для улучшения практики здравоохранения.

3.2.5. Количественная диагностика и оценка

Роботы, подключенные к информационным системам, могут получать данные от пациентов бесprecedентными способами. Они могут использовать датчики для регистрации физиологических состояний пациента, вовлекать пациента в физическое взаимодействие для получения внешних показателей здоровья таких как сила, взаимодействовать с пациентом с оциальными способами для получения поведенческих данных (например, взгляд, жест, совместное внимание и т. д.) более объективно и многократно, чем это мог бы сделать человек-наблюдатель. Кроме того, робот может быть осведомлен об истории конкретного состояния здоровья и его лечении, а также получать информацию от датчиков о взаимодействии, которое происходит между врачом или лицом, осуществляющим уход, и пациентом. Количественная диагностика и оценка требуют ощущения пациента, применения стимулов для оценки и ответов и интеллекта, чтобы использовать полученные данные для диагностики и оценки. Если диагностика или оценка неясны, роботу можно поручить обратиться более подходящие данные. Робот должен иметь возможность интеллектуально взаимодействовать с врачом или лицом, осуществляющим уход, чтобы помочь им поставить диагноз или провести оценку, используя ложные знания в предметной области, а не обязательно заменять их. Поскольку роботы с пособствуют старению на месте (например, дома), автоматизированная оценка становится все более важной как средство предупреждения лиц, осуществляющих уход, которое не всегда может присутствовать, о потенциальных проблемах с здоровьем.

Многие технологические компоненты, связанные с диагностикой и оценкой, такие как микроробототехнические «лабораторные датчики на чипе» для химического анализа и «умная одежда», регистрирующая частоту сердечных сокращений и другие физиологические явления, заимствованы из идей в области робототехники или были разработаны ранее. Используются роботами для диагностики и оценки. Другие, такие как использование интеллектуальных оциально-асистированных роботов для количественной оценки поведенческих данных, являются совершенно новыми и предлагают новые способы обработки данных, которые до сих пор были только качественными.

Каждый из множества этапов диагностики/оценки необходимо усовершенствовать, а затем объединить в единый процесс. Эти шаги включают в себя применить стимул (при необходимости), получить данные, поставить диагноз или оценить состояние здоровья пациента, передать информацию в полезной форме с соответствующим уровнем детализации или лицом, осуществляющим уход, интегрировать вклад лиц, осуществляющих уход, для пересмотра диагноза/оценки и выполнить действия, которые позволяют обратиться больше или различные данные (при необходимости) для более обновленной диагностики/оценки. В некоторых случаях этот процесс является автономным (т. е. проводится в рамках контролируемого сеанса), тогда как в других это может быть более открытая процедура (т. е. проводится в естественной среде, например, дома). Для достижения этого сложного процесса необходимо достичь нескольких важных этапов.

Через 5 лет робот должен быть способен извлекать соответствующие показатели, такие как возбуждение, частота сердечных сокращений и т. д. с помощью датчиков, направление взгляда, социальные жесты и т. д. в реальном мире. Будет проведен автономный анализ биологических и поведенческих сигналов и разработаны оптимальные способы передачи информации роботизированной системе и лицу, осуществляющему уход. Интеграция мультимодального физиологического зондирования и визуализации данных имеет важное значение.

«Через 10 лет мы должны иметь возможность получать доступ к биологическим сигналам с помощью внешнего оборудования». Приборы и проводить прямой анализ как биологических, так и двигательного поведения для обеспечения подробного диагноза и/или оценки. Роботизированные устройства используют для стимуляции пациента по мере необходимости для получения соответствующих данных, от двигательных до социальных. Алгоритмы автоматического извлечения характерного поведения из мультимодальных данных должны обеспечивать возможность сегментации и анализа данных для оказания помощи в количественной диагностике.

«Через 15 лет мы сможем осуществить подключение и легкий доступ к биологическим сигналам с помощью». носимые или имплантируемые устройства. Это связано с интегрированной, неограниченной мультимодальной чувствительностью и интуитивно понятной редкой визуализацией данных для пользователя лица, осуществляющего уход. Алгоритмы реального времени позволяют проводить количественный анализ таких данных не только в автономном режиме, но и в режиме онлайн для диагностики на месте, а также для долгосрочного отслеживания пациентов. Системы разрабатываются для домашнего использования и раннего выявления симптомов распространенных расстройств, таких как расстройства аутистического спектра, новые поведенческие данные.

3.2.6. Руководство, соответствующее контексту

Роботы могут предоставлять пациентам и лицам, осуществляющим уход, соответствующий контексту рекомендации, с учетом влияния стороны робота (точность, ловкость в небольших масштабах и развитие сенсорных возможностей) с сильными сторонами человека (знания предметной области, продвинутое принятие решений и решение неожиданных проблем.), решение). Эта концепция совместного управления также известна как системы совместной работы человека и машины, в которых оператор работает «в цикле» с роботом во время выполнения задачи. Как описано ранее, люди (как пациенты, так и лица, осуществляющие уход) предоставляют собой неопределенные элементы в системе управления. Таким образом, чтобы робот мог оказывать соответствующую помощь, важно, чтобы робот понимал контекст задачи и поведение человека для таких задач, как захват объекта протезной рукой, выполнение деликатной хирургической процедуры или помощь пожилому пациенту встать с кровати.

Могут быть представлены многие виды помощи или рекомендаций. В области управления протезами могут пройти десятилетия, прежде чем мы получим достаточно понимание нервной системы человека, чтобы обеспечить сенсорную обратную связь, позволяющую людям легко управлять искусственной рукой с таким же количеством суставов, как и в настоящей руке. Таким образом, необходимые роботизированные контроллеры низкого уровня, которые помогут автоматически управлять суставами, которые не контролируются напрямую человеком. Движение автоматически управляемых суставов должно дополнять движение суставов, управляемых человеком, а результирующее поведение настолько интуитивно понятно, что человек-оператор даже не замечает, что имеет место некоторая автономия. Другой пример — использование «виртуальных изображений» в хирургии. Термин «виртуальное изображение» относится к общему классу режимов наведения реализованных в программном обеспечении и реализуемых роботизированных устройств, которые помогают системе взаимодействия человека и машины выполнять задачу, ограничивая движение в ограниченных областях и/или влияя на движение по желаемым траекториям. Виртуальные изображения могут улучшить малоинвазивную хирургию с помощью робота, гарантируя, что манипулятор внутри пациента не попадет в запрещенные зоны рабочего пространства, такие как поверхность органов, которые не следует разрезать, и деликатные тканевые структуры. В то же время хирург должен иметь возможность при желании перепределить виртуальную текстуру.

Последний пример такого руководства включает в себя обучение физическим, когнитивным и/или социальным упражнениям, направленным на реабилитацию различных состояний. Реализация таких режимов управления требует, чтобы робот понимал задачу, которую пытается выполнить человек-оператор или пользователь, текущее состояние человека (как физическое, так и его намерения) и имел физические и/или социальные средства для обеспечения

помощь. Приведенные ниже этапы основаны на распутой неопределенности задачи, человека-оператора и с реда.

«Через 5 лет робот должен быть способен отслеживать, записывать и предлагать оптимальную производительность процедуры».
для набора четко определенных процедур или действий с четкими шагами. Распознавание поведения/состояния человека и соответствующая роботизированная помощь должны быть достижимы в лаборатории. с реда.

«Через 10 лет робот должен быть способен распознавать и классифицировать человеческое поведение и намерения».
достаточно в измененной среде, в которой окружающая среда и/или люди дополняются, чтобы облегчить восприятие. Новые устройства должны использоваться для обеспечения незаметного увеличения

«Через 15 лет робот должен быть в состоянии достичь производительности 10-летнего периода в неизменном виде».
с реда. Роботизированная система должна быть способна обобщать соответствующие исторические данные и консультироваться с опытными лицами, осуществляющими уход, в сложных ситуациях, даже при необходимости включения в контур управления

3.2.7. Вмешательство под визуальным контролем

Теперь мы рассматриваем роботизированное вмешательство под визуальным контролем, которое фокусируется на визуализации внутренних структур пациента для управления роботизированным устройством и/или его человеком-оператором. Обычно это связано с хирургией и интервенционной радиологией, хотя описанные здесь концепции могут более широко применяться к любым потребностям здравоохранения, при которых пациента невозможно визуализировать естественным путем. Независимо от применения, такие вмешательства требуют достижений в получении и анализе изображений, разработке роботов, совместимых с системами визуализации, а также методов, позволяющих роботам и их операторам использовать данные изображения

Данные датчиков необходимы для построения моделей и получения информации в режиме реального времени во время операций и интервенционной радиологии. Методы медицинской визуализации в реальном времени, такие как магнитно-резонансная томография (МРТ), ультразвук, спектроскопия и оптическая когерентная томография (ОКТ), могут обеспечить значительные преимущества, когда они позволяют врачу видеть подповерхностные структуры и/или свойства тканей. Кроме того, изображения, полученные до операции, можно использовать для планирования и моделирования. Новые методы, такие как эластография, которая неинвазивно позволяет количественно оценить податливость тканей, необходимы для получения изображений, предоставляющих полезную количественную физическую информацию. Для управления роботом пока не понятно, необходимы ли разрешение изображений. Мы должны определить, как интегрировать их с роботизированными системами, чтобы предоставлять полезную информацию хирургу и роботу, чтобы он мог реагировать на состояние здоровья пациента в режиме реального времени.

Одной из наиболее полезных форм визуализации является магнитно-резонансная томография (МРТ). Разработка роботов, совместимых с МРТ, особенно сложна, поскольку МРТ опирается на сильное магнитное поле и радиочастотные (РЧ) импульсы, поэтому невозможно использовать компоненты, которые могут мешать этим физическим эффектам или быть восприимчивыми к ним. Это исключает большинство компонентов, используемых в типичных роботах, таких как электродвигатели и ферромагнитные материалы. Кроме того, хирургия или интервенционная радиология внутри томографической области требуют серьезных ограничений на размер и геометрию робота, а также на характер взаимодействия врача и робота. Для создания роботов, которые можно легко интегрировать в интервенционный комплекс, необходимы новые материалы, дополнительные механизмы и датчики.

Для создания роботов, которые можно легко интегрировать в интервенционный комплекс, необходимы новые материалы, дополнительные механизмы и датчики.

Учитывая обилие различных типов вмешательств, полезно рассмотреть все их, касающиеся различных типов операций, которые можно выполнить с помощью роботов. Каждый из этих этапов включает в себя один и тот же конечный или полу- и полностью автоматизированный поведенческий робот, только на разных уровнях сложности.

«Через 5 лет мы сможем использовать изображения для проведения ультранизковоинвазивной диагностики и лечения».

терапия с использованием игл, которые могут достигать желаемых целей, избегая при этом деликатных структур. Роботы должны обеспечивать автоматическое преобразование данных изображений в физические модели конкретных пациентов для управления этими вмешательствами.

«Через 10 лет у нас должны быть плавающие микророботы, способные осуществлять местную доставку лекарств с помощью».

автоматическая модель структуры судна на основе пространственных изображений. Кроме того, эти роботы должны будут иметь конструктивную передвижку и управления совместимую с имидж-каналом (с использованием моделей механики жидкости), а также автоматическую локализацию патологий в реальном времени на основе физиологических измерений, совместимых с имидж-каналом.

«Через 15 лет мы сможем создать полуавтоматических и автоматизированных хирургических ассистентов, которые будут использовать их в полной мере».

Генерация изображений в модели в реальном времени (включая геометрию, механику и физиологические состояние).

Данные изображения будут использоваться для создания онлайн-планировщиков и контроля ретракции и резекции органов при ловких минимально инвазивных хирургических процедурах.

3.2.8. Высокая ловкость манипуляций в любом масштабе

Проектирование и управление устройств являются ключом к работе всей медицинской робототехники, поскольку они физически взаимодействуют с окружающей средой. Соответственно, одна из важнейших технических задач является область механализмов. Например, в хирургии, чем меньше размер робота, тем менее инвазивна процедура для пациента. А в большинстве случаев повышение ловкости приводит к более эффективным и точным операциям. Мы также рассматриваем возможность хирургии клеточного масштаба: доказательства этой конечности уже были реализованы в лаборатории. Другой пример — восстановление; Современные реабилитационные роботы большие и связаны с клиникой. Аналогичным образом, доступность физиотерапевтов ограничена. Тем не менее, для многих пациентов эффективная долгосрочная терапия явно требует более длительных и частых тренировок, чем это возможно или практически осуществимо в клинике. Носимые устройства человека с масштаба или, по крайней мере, те, которые можно легко носить с собой домой, позволяют применять реабилитационную терапию беспрерывными способами. Наконец, рассмотрим ловкий протез руки. Чтобы полностью воспроизвести суставы реальной руки, используя современные механизмы, конструктивные приводы и источники энергии, потребуется, чтобы рука была лишком тяжелой или большой для естественного использования человеком. Маленькие, ловкие механизмы делают большой шаг вперед в создании протезов конечностей, более похожих на живые.

Миниатюризация является сложной задачей во многом потому, что современные электромеханические приводы (стандартные из-за их желаемой управляемости и соотношения мощности к весу) относительно велики. Биологические аналоги (например, человеческие мышцы) намного превосходят инженерные системы с точки зрения компактности, энергоэффективности, низкого импеданса и высокой выносливости. Интересно, что эти биологические системы часто объединяют «механизмы» и «приведения в действие» в единую, неразделимую систему. Конструктивная нововосемеханизма будет идти рука об руку с разработкой привода. Кроме того, необходимо будет контролировать каждую комбинацию привода и механизма, чтобы она полностью реализовала свои потенциальные возможности, особенно когда требуется ловкость.

Необходимо разработать модели для оптимизации стратегий контроля; это может даже стимулировать разработку механализмов, которые особенно легко моделировать.

Цели систем, обеспечивающих высокую маневренность в любом масштабе, естественно, будут сильно различаться в зависимости от медицинского применения (например, примеры хирургии, реабилитации и протезирования, приведенные выше). Таким образом, естественным набором этапов проектирования механализмов является рассмотрение возможностей, связанных с каждым из этих приложений, в порядке возрастания сложности.

- Через 5 лет «роботизированные» руки для протезов должны обладать достаточной степенью свободы и ловкости. с легкой конструкцией, обеспечивающей естественное манипулирование. Должны быть доступны мобильные манипуляторы для работы в структурированных средах (например, для подъема и доставки определенных объектов).
- Через 10 лет роботы-манипуляторы для хирургических операций должны быть способны выполнять змеиные маневры». большая глубина, например, не обходя для операций на естественном отверстии. Манипуляторы для повседневных объектов должны расширять, чтобы они могли обрабатывать более общие объекты и задачи (поднять, доставить, повернуть, открыть дверь, нажать кнопку, переместить ползунок и т. д.).
- Через 15 лет «микророботы» должны быть способны оказывать помощь в «ловкой» микрохирургии в «малых масштабах». структуры, такие как глаза, а также хирургия клеточного масштаба. Мобильные манипуляторы с бортовыми источниками питания и вычислениями должны безопасно манипулировать объектами в повседневной среде.

3.2.9. Автоматизированный сбор данных о состоянии здоровья на основе датчиков

Мы приближаемся к эпохе почти повсеместного присутствия. Камеры дешевеют, становятся дешевле, алгоритмы анализа изображений становятся лучше. Сетевая инфраструктура продолжает улучшаться. По какой-либо причине (домашняя безопасность, домашние камеры и т. д.) вполне вероятно, что значительная часть нашей жизни будет наблюдаться явленной сенсорной сетью. Другие датчики также становятся более эффективными и распространенными. Нашиотовые телефоны оснащены акселерометрами, камерами и GPS, которые предоставляют ценную информацию. Добавьте к этому быстрый рост более традиционных медицинских изображений и возможность использования других биосенсоров, таких как носимые мониторы или встроенные камеры и туалеты с инструментами, и для каждого из нас становится технически возможным иметь подробные записи о питании, поведении и физическом состоянии популяции, мы получим базу данных, гораздо более подробную и широкую по объему, чем все, что мы видели в прошлом. Такая база данных позволяет выйти на новый уровень медицинских исследований, полностью основанных на исторических данных. В настоящее время медицинские исследования направлены на рассмотрение конкретных проблем или гипотез, а стоимость этих исследований ограничивает объем и продолжительность. Есть также некоторые типы данных, например, о моделях поведения в обычной жизни, которые в настоящее время очень трудно получить. Крупномасштабная база данных позволяет проводить более открытые исследования, выявляя закономерности или корреляции, о которых, возможно, никто даже не подозревал. Оно также выводит на новый уровень персонализированное здравоохранение, обеспечивая более быструю и точную диагностику, а также являясь источником советов по выбору образа жизни и его вероятным последствиям.

- Через 5 лет получить доступ к согласованному сбору данных. Начать агрегирование существующих данных о здоровье (в соответствующий анонимный формат) для облегчения анализа. Работайте с различными медицинскими сообществами и заинтересованными сторонами по сбору данных, чтобы облегчить доступ к анонимным данным. Учитесь на успешных моделях (например, генетической базе данных Исландии).
- Через 10 лет применить алгоритмы интеллектуального анализа данных для увеличения объема данных. Развертывание сложных данных. Обмен методами для облегчения доступа не только к исследовательскому сообществу, но также к медицинским работникам и пациентам.
- За 15 лет сделать доступными анонимные данные о здоровье за 15 лет для всей нации и за ее пределами. форма для всех заинтересованных исследователей, с педиатрических здравоохранения и непрофессиональных пользователей через подпадающий веб-интерфейс, продолжая при этом собирать долгосрочные данные и делать их доступными.

3.2.10. Безопасное поведение роботов

Проблема безопасных действий и реакции роботов так же стара, как сама область робототехники. Однако безопасность приобретает новое измерение, когда непосредственное взаимодействие с людьми, частично являемыми, составляет новую цель робота. Обеспечение соответствующего реагирования на поведение человека (например, знание разницы между непреднамеренным поведением человека и конкретным намерением) представляет собой новую техническую задачу.

Робот должен быть способен предвидеть опасное поведение или уловия (т. е. создавать виртуальные ограничения) и реагировать на лобные неотложные условия в домашних условиях при любых условиях. Такую операцию гораздо легче осуществить в бесконтактных системах, т. е. в HRI, которая предполагает физическое прикосновение и приложения силы между пользователем и роботом. Когда речь идет о контакте, исследования сосредотачиваются на изначально безопасных механизмах на механическом и аппаратном уровне, чтобы обеспечить безопасность задолго до уровня программного обеспечения.

Безопасность поведения имеет более глубокие последствия, чем простое физическое взаимодействие. Хотя социально-асистивная робототехника обычно не предполагает какого-либо физического контакта между роботом и пользователем, взаимодействие может привести к нежелательным эмоциям, таким как сильная привязанность или отвращение. Хотя подобных реакций пока не наблюдалось, возможности необходимо принимать во внимание в контексте проектирования безопасных систем.

Через 5 лет продолжить разработку абсолютно безопасного развертывания маловесных/прочности и

доступные корпусы для обслуживания и социально-вспомогательная робототехника для клинических и домашних испытаний для решения конкретных задач.

За 10 лет с созданием доступных прототипов робототехнических систем в клиниках и дома для массовых работ.

оценки с участием разнородных пользователей (медицинских работников, семьи, пациента). Собирайте продольные данные о безопасности и удобстве использования.

Через 15 лет безопасное развертывание роботизированных систем в неструктурированной среде (например, дома,

на открытом воздухе), предполагающее взаимодействие человека и машины в режиме реального времени с неизвестными пользователями, с минимальным обучением и использованием интуитивно понятных интерфейсов.

3.3. Проблемы развертывания

Развертывание комплексных систем медицинской робототехники требует практических вопросов безопасности, надежной и непрерывной работы в среде обитания человека. Системы должны быть конфиденциальными, безопасными и совместимыми с другими системами в доме. Чтобы перейти от постепенного прогресса к последствиям на системном уровне, область медицинской робототехники и медицинской робототехники нуждается в новых принципиальных инструментах и методах измерения для эффективной демонстрации, оценки и сертификации.

Проблема оценки системы усугубляется характером проблемы: оценка функций и поведения человека как части сложной системы.

Количественная характеристика патологии — существующая проблема медицины; Робототехника потенциально может внести свой вклад в решение этой проблемы, предоставляя методы сбора и анализа количественных данных о функциях и поведении человека. В то же время оказание медицинской помощи в некоторых случаях носит качественный характер в сочетании с терапией, мотивацией и социальным взаимодействием; Хотя такие методы являются стандартными в социальных науках, они не признаются и не принимаются медицинскими сообществом. Поскольку медицинская и медицинская робототехника должна работать как с обученными специалистами, так и с непрофессионалами, необходимо добиться признания с обеих сторон сообществ. Это требует воспроизведения экспериментов, стандартов, повторного использования кода, повторного использования/совместного использования аппаратных платформ, клинических испытаний, достаточных данных для заявлений об эффективности и перемещения роботов из лаборатории в реальный мир. Поскольку системы становятся все более интеллектуальными и автономными, необходимо разрабатывать методы измерения оценки адаптивных технологий, которые изменяются вместе с взаимодействием с пользователем.

Доступность робототехнических технологий должна решаться на нескольких разных уровнях. Больницы тратят значительные средства на приобретение робота, затраты на техническое обслуживание высоки, а стоимость разработки роботов огромна, учитывая сложность и строгие требования производительности для медицинских приложений. Необходимо политика для устранения нормативных барьеров, проблем лицензирования и сертификации на уровне штата, правил контроля и обучения с помощью роботов, а также возмещения расходов через страховые компании. Наконец, нам необходимо учитывать культуру обеих хирургов.

и пациенты; Обе группы должны иметь веру в роботизированную технологию для широкого признания.

Конечная цель медицинской робототехники и медицинской робототехники состоит в том, чтобы потребитель мог пойти в магазин и купить подходящую систему, подобно тому, как сегодня мы покупаем компьютер, а затем интегрировать эту систему в дом без необходимости дооснащения. Необходимо доказать, что технология эффективна, доступна и принята. Отсутствие поддерживающей промышленности замедляет прогресс в области медицинской робототехники.

Чтобы создать индустрию медицинской робототехники, с начала необходимо направить ресурсы на финансирование совместных предприятий, объединяющих необходимый опыт в области инженерии, здравоохранения и бизнеса. Финансирование особенно необходимо в областях инкубации и производства полных систем, а также их оценки на популярность пациентов в исследованиях продолжительностью год или больше. В настоящее время не существует агентства, финансирующего такую инкубацию: исследования лишены технологичности для Национального института здравоохранения, лишены медицинской для Национального научного фонда и слишком далеки от непосредственного рынка, чтобы их можно было финансировать бизнесом или венчурным капиталом. В результате нехватает критической массы новых, протестированных и внедренных технологических инноваций, продуктов и предприятий для создания отрасли.

Процветание отрасли требует обучения исследованиям, внедрению, оценке и внедрению робототехники в здравоохранение. Университеты уже делают первый шаг в этом направлении, разрабатывая междисциплинарные программы, которые объединяют медицинскую и инженерную подготовку на уровне бакалавриата и магистратуры. Также повышенное внимание уделяется информационно-просветительской деятельности K-12 с использованием уже популярной и привлекательной темы робототехники. Робототехника, связанная с здравоохранением, в частности, эффективно привлекает девушек в инженерное дело, обращаясь к еще одной важной тенденции в сфере рабочей силы, поскольку женщины играют ключевую роль как в здравоохранении, так и в оказании неформального ухода.

4. Фундаментальные исследования/технологии

Достижение описанных выше прикладных возможностей потребует значительного прогресса в фундаментальных исследованиях в области робототехники и связанных с ними технологий. В этом разделе описаны базовые исследования в области робототехники, необходимые для развития медицинской робототехники и здравоохранения.

4.1. Архитектура и представления

Архитектура управления роботами воплощает в себе организационные принципы правильной разработки программ, управляющих робототехническими системами. Одной из наиболее сложных фундаментальных проблем, которые решают архитектуры, являются интеграция непрерывных циклов взаимодействия низкого уровня с символическими рассуждениями высокого уровня построения использования соответствующих представлений данных. Разработка архитектуры управления роботами достигла нового уровня сложности с медицинскими и медицинскими робототехническими системами, поскольку такие системы должны взаимодействовать в реальном времени с сложными средами реального мира, начиная от человеческих тканей и заканчивая социальными взаимодействиями человека. Такие системы и взаимодействия характеризуются мультимодальным зондированием, различными типами воплощенных взаимодействий, а также проблемами представления и манипулирования данными в масштабе времени, необходимым для своевременного реагирования. Чтобы решить эти проблемы, необходимо разработать архитектуры, облегчающие принципиальное программирование гибких, адаптивных систем для определенных сред, включая прямое физическое и/или нефизическое взаимодействие с одним или несколькими пользователями-людьми. Для взаимодействия человека и робота архитектура должна также учитывать

Ресурсы должны быть направлены

на совместные предприятия,

которые объединяют необходимый опыт в области

инженерии, здравоохранения и

для моделирования когнитивных систем, представлений навыков и окружающей среды, расхождений о неопределенности, иерархического и непрерывного обучения навыкам и моделирования пользователей, социального взаимодействия в реальном времени (включая речь и взаимодействие языка и физической активности), а также восстановление после боев и другие.

4.2. Формальные методы

Формальные методы — это математические подходы к спецификации, разработке и проверке систем. В медицинской и медицинской робототехнике они обеспечивают множество основных возможностей. Одна группа областей — это надежные инструменты моделирования, анализа и симуляции для многих классов систем. Формальные методы обеспечивают оптимальную системную интеграцию, так что мы можем проектировать системы на основе робототехнических технологий, компоненты которых работают друг с другом совершенно предсказуемым образом. Для медицинских роботов, которые напрямую взаимодействуют с людьми, осущестляющими уход и пациентами, конструкторами контроллеров, планировщиками, операционное программное обеспечение и аппаратное обеспечение должны быть проверены и подтверждены как безопасные с использованием формальных методов. В настоящее время большая часть работ по формальным методам не включает в себя неопределенность в той степени, которая необходима для медицинской робототехники. Сопутствующей целью является использование формальных методов при проектировании и моделировании поведения систем, работающих с человеком, включая формальное моделирование поведения человека и взаимодействия человека и робота.

4.3. Контроль и планирование

Управление, определяемое здесь как вычисление команд робота низкого уровня (например, какой крутящий момент должен прикладываться к двигателю), является важным компонентом всех физических роботов. В медицинской робототехнике особенно важным аспектом управления является контроль контакта/силы. В этой форме управления мы обычно хотим, чтобы робот поддерживал контакт с окружающей средой с заданной силой, например, применяя силу к пациенту в сценарии реабилитации, контактируя с мягкими тканями во время пальпации и захватывая объект протезной конечностью. Поддержание стабильного и безопасного контакта является сложной задачей из-за временных задержек и несовершенства динамических моделей (особенно моделей трения). Все эти проблемы необходимо решать путем параллельного совершенствования конструктора, моделирования и управления роботами. Таким образом, действующие события

Контактный контроль необходим для развития роботов, контактирующих с неопределенной средой.

Чтобы любой робот мог функционировать независимо или полуавтономно, он должен использовать план для определения курса действий. Примеры планов в медицинской и медицинской робототехнике включают план того, как помочь пациенту встать с постели, и план того, как робот может добраться до опухоли в органе. В медицинской робототехнике планы должны быть адаптированы к действиям человека (например, хирурга, лица, осуществляющего уход или пациента) и неопределенной окружающей среды (например, мягких тканей, среды обитания или пациента, проходящего реабилитацию). Хотя планирование было чрезвычайно успешным компонентом исследований в области робототехники, большая часть существующих работ опирается на детальное знание окружающей среды и предназначена для полностью автономных систем. Соображения по планированию медицинской робототехники и медицинской робототехники требуют новых подходов к работе в неопределенных условиях и с участием человека.

4.4. Восприятие

Робот, который использует данные и модели датчиков восприятия для лучшего понимания задачи, окружающей среды или пользователя, является важным компонентом всех медицинских роботов. В хирургии под визуальным контролем данные изображения должны быть проанализированы и преобразованы в полезную информацию об определенных особенностях, таких как органы, препятствия (например, тазовая кость в урологической хирургии) и целевые области (например, опухоль, внедренная в печень). Для этого часто требуются не только данные датчиков, но и информация из «атласа», в котором фиксируются особенности, выявленные у многих схожих пациентов, чтобы восприятие направляло процесс распознавания важных особенностей у конкретного пациента. Выходные данные системы восприятия можно использовать для разработки

хирургический план, создать симуляцию и предоставить обратную связь оператору в режиме реального времени. Другая форма восприятия имеет отношение к здоровью ранению, — это интерпретация данных тактильных, силовых и контактных датчиков для построения моделей людей, роботов и окружающей среды, а также взаимодействия между ними. Например, если протезная рука удерживает чашку с помощью системы контроля низкого уровня (чтобы уменьшить требуемое внимание человека), важно обработать данные, которые позволяют руке определить, раздавливается ли чашка или выскальзывает из нее. Понять, сколько жидкости в нем содержится.

Связанный с этим вопрос заключается в том, что роботизированные системы для здоровья ранения также должны понимать некоторые аспекты функционирования человеческого организма. Например, в хирургии под визуальным контролем информация должна предоставляться оператору интуитивно понятным образом, с соответствующим уровнем детализации и разрешения и не отвлекая от поставленной задачи. Другой пример — применение в протезах, управляемых мозгом, и некоторых формах физической реабилитации с помощью роботов. Для таких систем понимание того, как люди будут интерпретировать обратную связь от робота, является ключом к выбору датчиков и способу представления их данных. Такие задачи требуют лучших моделей человеческого организма, позволяющих оптимизировать взаимодействие между людьми и роботами.

Наконец, ключевой проблемой для систем, которые взаимодействуют с пользователем, является восприятие и понимание активности пользователя в режиме реального времени, чтобы обеспечить эффективное взаимодействие человека и машины. Естественное, ничем неограниченное человеческое поведение сложно, общепринято непредсказуемо и часто неопределенно. Разработка новых датчиков и прогнозирующих моделей не обходима для облегчения поиска решений по восприятию и пониманию человеческого поведения, как обсуждается в разделе 4.9 ниже.

4.5. Надежные, высококачественные датчики

Здесь мы сосредоточимся на двух типах сенсоров, особенно важных для медицины и здоровья ранения биосовместимых / имплантируемых датчиках и силовом/тактильном зондировании. Эти датчики, наряду с алгоритмами восприятия, часто необходимы для определения состояния лица, ощущения щегоух/врача, пациента и (в некоторых случаях) окружающей среды.

Биосовместимые/имплантируемые датчики станут отличным катализатором крупных достижений в этой области. Тесное физическое взаимодействие между роботами и пациентами требует систем, которые не будут вредить биологическим тканям и не перестанут функционировать при контакте с ними. В хирургии необходимо разработать механизмы, которые не будут преднамеренно повреждать ткани, а датчики должны иметь возможность правильно функционировать в среде с влажностью, мусором и переменной температурой. Для протезирования датчики и зонды должны иметь достаточные мышцы, нейронам и тканям мозга и их ранять функциональность в течение длительного времени без ухудшения производительности. Эти датчики и устройства должны быть разработаны с учетом медицинских и медицинских робототехнических приложений, чтобы соответствовать требованиям к производительности.

Когда роботы работают в неструктурированной среде, особенно рядом с людьми и в контакте с ними, использование осознания имеет решающее значение для точных, эффективных и безопасных операций. Тактильные, силовые и контактные данные необходимы для осознания манипулирования мягкими материалами, от человеческих органов до одежды и других предметов в доме. Особенно сложно собирать и интерпретировать пространственно распределенную сенсорную информацию из-за большой площади и высокого разрешения необходимых для датчиков. Датчики тока ограничены по надежности, разрешению, деформируемости и размеру.

4.6. Новые механизмы и высокопроизводительные приводы

Для систем, начиная от ультраминимально инвазивных хирургических роботов и заканчивая протезными имплантатами размером с человека, роботам нужны очень маленькие приводы и механизмы с высоким соотношением мощности к весу. Эти конструкции позволяют нам создавать роботов меньшего размера, потребляющих меньше энергии и менее дорогостоящих. Это позволяет добиться большего

эффективность, а также распространение информации среди нуждающегося населения. Ниже мы выделим два примера того, как достижения в области мехатроники и приводов могут улучшить медицину.

В хирургии необходимы новые мехатронные, обеспечивающие маневренность очень маленьких и недорогих роботов, которыми можно механически управлять вне тела. Поскольку многие мехатронные трудно стерилизовать, в хирургии было бы полезно использовать одноразовые устройства, изготовленные из недорогих материалов и изготовленные с использованием эффективных методов сборки. Как упоминалось ранее, возможности хирургии под визуальным контролем (для некоторых методов визуализации) зависят от специально разработанных совместимых роботов, в которых отсутствуют электрические и магнитные компоненты. В этих местах есть обычные ограничения на приводы, которые в большинстве существующих роботов являются электромеханическими.

Усовершенствованные протезы также стимулируют значительные усовершенствования мехатроники и приводов. Проектирование рук робота с ловкостью человеческих рук, рук и ног с силой человеческих рук и ног является сложной задачей, учитывая ограничения по объему и весу, которых требует человеческая форма. Мехатронные, использующие новые топологии, основанные на теории кинематики и глубоком понимании свойств материалов. Еще одна важная проблема протезирования — то, как они будут приводиться в действие. Отношение мощности к весу обычных (электромеханических) приводов уступает многим другим потенциальным технологиям, таким как память формы/сверхэластичные сплавы и прямое преобразование химической энергии в механическую (например, монопливо). Однако многие новые технологии приводов проблематичны из-за соображений безопасности, медленного времени реакции и трудностей с точным управлением. Нам необходимо продолжать исследовать и развивать эти и другие потенциальные приводы роботов.

4.7. Обучение и адаптация

Как обсуждалось в разделе 3.2.4, с целью улучшить сферу производительности с течением времени, а также улучшить производительность пользователя являются ключевыми целями медицинскими робототехниками и медицинскими робототехниками. С этой целью необходима целенаправленная работа по статистическому машинному обучению, применимому к реальным неопределенностям и мультимодальным медицинским и медицинским данным, а также выходу за рамки конкретных узких областей к более комплексным моделям здоровья пользователей. Такие алгоритмы обучения должны обеспечивать гарантированный уровень производительности с целью (безопасность, стабильность и т. д.) при изучении новых политик, поведения и навыков. Это особенно важно при долгосрочном и пожизненном моделировании пользователей и обучении задачам — основным целям системных систем. Распущенные усилия в области обучения и приобретения навыков посредством обучения демонстраций и подражания должны быть направлены на реальную медицину и здравоохранение, опять же используя неопределенные данные реального мира для обновления актуальности. В целом, обучение и адаптация пользователей, окружающих с редкими задачами должны стать стандартным компонентом удобных и надежных интеллектуальных робототехнических систем ближайшего будущего.

4.8. Физическое взаимодействие человека и робота

Физическое взаимодействие человека и робота присутствует в большинстве медицинских приложений. Как описано ранее, такие взаимодействия требуют от ответа чувствительности восприятия и действий. Для обнаружения человека можно использовать обычные датчики роботов или биосовместимые/имплантируемые датчики, такие как интерфейсы «мозг-машина». Такие данные датчиков необходимо сочетать с моделированием, чтобы обеспечить восприятие. Моделирование и/или имитация формы и функций человека являются частью новой проектирования роботов, вступающих в физический контакт с людьми. В этой области предстоит проделать большую работу, поскольку мы не до конца понимаем, какие модели людей полезны для оптимизации конструкции, восприятия, управления и планирования роботов.

Важным аспектом физического контакта между людьми и роботами является аптика (технология прикосновения). Когда врачи или пациенты используют роботов для взаимодействия с удаленными по расстоянию или масштабу с командами, оператору необходимо естественный интерфейс, который делает робота «прозрачным». то есть,

Оператор хирургического робота, протеза или реабилитационного робота должен чувствовать, что он или она напрямую манипулирует реальной средой, а не взаимодействует с роботом. Тактильные (сильные и тактильные) дисплеи дают пользователю обратную связь, аналогичную тому, что он или она чувствует в реальном мире. Эта тактильная обратная связь может улучшить производительность с точки зрения точности, эффективности и комфорта.

4.9. Социально-интерактивные роботы

Эффективное социальное взаимодействие с пользователем (или группой пользователей) имеет решающее значение для того, чтобы медицинская и медицинская робототехника могла стать полезной для улучшения результатов в отношении здоровья при выздоровлении, реабилитации и оздоровлении. Готовность пользователя взаимодействовать с социальным ассистивным роботом, чтобы принимать советы, взаимодействовать и, в конечном итоге, изменять методы поведения в направлении желаемых улучшений, напрямую зависит от способности робота завоевать доверие пользователя и поддерживать интерес пользователя. С этой целью необходимо разработать пользовательские интерфейсы и устройства ввода, которые будут простыми и интуитивно понятными для широкого круга пользователей, в том числе для пользователей с особыми потребностями. Носимые датчики, палочки и другие все более повсеместные способы взаимодействия будут использоваться и совершенствоваться наряду с жестами, мимикой и физическим/физическим взаимодействием. Выразительность движений и другие средства телесной коммуникации. Социальное взаимодействие по своей сути двунаправлено и, таким образом, включает в себя как мультимодальное восприятие, так и общение, включая вербальные и невербальные средства. Таким образом, автоматическое обнаружение и классификация поведения, распознавание действий, включая намерения пользователя, внимание к конкретной задаче и распознавание неудач являются критически важными компонентами HRI. Исследования роли личности и ее выражения, а также автоматическое понимание эмоций и правдоподобное выражение эмоций через несколько каналов (голос, лицо, тело) необходимы для обеспечения правдоподобного взаимодействия человека и машины в реальном времени.

4.10. Моделирование, симуляция и анализ

Разнообразие моделей важно для применения в медицинской робототехнике и здравоохранении. Мы можем разделить их на две основные категории, относящиеся к медицинской и медицинской робототехнике: моделирование людей (от биомеханики тканей до когнитивной интеграции человека и физического поведения) и моделирование инженерных систем (включая информационные/низкие и открытые архитектуры и платформы). Модели могут относиться к биомеханике, физиологии, динамике, окружающей среде, геометрии, состоянию, взаимодействиям, задачам, познанию и поведению. Модели можно использовать для решения многих задач, включая оптимальное проектирование, планирование, контроль, выполнение задач, тестирование и проверку, диагностику и прогноз, обучение, а также социальное и когнитивное взаимодействие.

Теперь мы приведем несколько конкретных примеров моделей, необходимых для медицины и здравоохранения. В телеоперированной (диспансионной) хирургии с задержками по времени необходимы модели пациента, обеспечивающие естественное взаимодействие между хирургом и удаленной операционной средой. Модели тканей в целом необходимы для планирования процедур, учебных тренажеров и автоматизированных систем наведения. Их только начинают применять при операциях с использованием иглы, но более сложные модели позволяют планировать и учитывать контекст для более широкого спектра процедур, таких как лапароскопические хирургии и клеточная хирургия. Модели, которые достаточно реалистичны для визуализации в реальном времени, позволяя хирургам проводить хирургические симуляции с высокой точностью для общего обучения и индивидуальной практики. Для системных медицинских роботов нам нужны модели человеческого познания и поведения, чтобы обеспечить соответствующую мотивационную помощь. Физические модели всего тела пациента также необходимы роботу для оказания физической помощи при выполнении таких задач, как прием пищи или вставание с постели.

В качестве другого примера рассмотрим тему реабилитации, в которой используются роботизированные технологии для ранней и точной диагностики. Такой системе потребуются модели пациента и его дефицита, чтобы разработать соответствующие методы лечения и точно оценить результаты. (В идеале модель пациента должна измениться после лечения.) Такие модели также необходимы для участия и расширения робототехнических технологий.

диагност. Для понимания человеческой деятельности в контексте, например, оценки точности и эффективности реабилитационных упражнений или повседневной деятельности, необходимы сложные модели, которые эффективно отражают состояние пользователя (на основе исходной оценки, возраста, уровня дефицита и т. д.) и могут быть использованы для классификации и анализа выполняемых действий (эффективно отличает упражнения от других видов деятельности) в сочетании с состоянием пользователя (находятся ли частоты сердечных сокращений в правильном диапазоне, не слишком ли настроен пользователь и т. д.) для оценки прогресса (улучшаются ли производительность упражнений), увеличивается выносливость, улучшается точность и т. д.) и обеспечения соответствующего обучения. И активность, и физиологическое состояние представляют собой сложные сигналы, которые требуют моделирования для облегчения классификации и прогнозирования. Как популяционные, так и индивидуальные модели необходимы для решения сложных задач онлайн-обнаружения классификации и прогнозирования состояния и активности человека в режиме реального времени.

5. Учас тники

Этот документ ос нован на с еминаре под названием «Дорожная карта ис следований в облас ти медиц инс кой робототех ники и здравоо х ранения», с остоявшем я 19-20 ию ня 2008 г . в Арлинг тоне, штат Вирджиния. Семинар с понс ировал я Конс орц иумом компью терног о общес тва (CCC), вх одящим в Ас с оц иац ию компью терных ис следований (CRA), за с чет г ранта Нац иональног о нау чног о фонда США (NSF).

Ниже перечис лены 37 ис следователей и предс тавителей промышленнос ти, прис утс твовавших на с еминаре или иным образом внес ших с вой вклад в подг отовку этог о документа. Семинар и разработку этог о документа возг лавляли Майя Матарик , Эллис он М Окамура и Х енрик Крис тенс ен.

Рон Альтер овиц

Калифорнийский университет в Беркли, Калифорнийский университет в Сан-Франциско

Дэвид Браун

Кинеа Дизайн

М. Дженк Ч авушог лу
Кейс Вестерн Резерв

Универс итет

Х ауи Ч осет

Универс итет Карнег и Меллон

Х енрик Крис тенс ен

Технологический институт Делавэри

Марк Каткос ки
Стэнфордский Универс итет

Х ари Дас Наяр

НКАП, лаборатория реактивных двигателей

Джай дев Десаи
Универс итет Мэриленда

Аарон Доллар
Гарвард/МТИ

Аарон Эдс инг ер
Мека Робототех ника

Миг ель Энкарнасан
Х умана

Брай ан Герки
Ивовый г араж

Невилл Х ог ан
Мас с анус етс кий инс титут

тех нолог ий

Аяна Х овард

Технологический институт Делавэри

Роберт Х оу

Гарвардс кий универс итет

Ч ад Дженкинс

Брауновс кий универс итет

Дэн Джонс
Интуитивный х ирург ичес кий

Тимоти Джаджинс
Интеллектуальная автоматизац ия

Джеймс Кунеман Kinetic
Muscles, Inc.

Венкат Крови
Солнечный Буффало

Коринна Лэтэм
AnthroTronix, Inc.

Мин Лин
UNC Ч апел-Х илл

Джей Мартин
Ортоух од

Майя Матарик
Универс итет Южног о
Калифорния

Эллис он Окамура
Универс итет Джонс а Х опкинс а

Марс ия ОМэлли
Универс итет Райс а

Ч арли Ортис
НИИ

Брай ан С качеллати
Йельский универс итет

Рид Симмонс
Универс итет Карнег и Меллон

Билл С март
Вашинг тонс кий универс итет
в С в. Луи

Джон С плетц ер
Универс итет Лих ай

Томас Цуг ар
Гос ударс твенный универс итет Аризаны

С тю арт Тэнс ли
Microsoft Ис с ледования

Рас с ел Тейлор
Универс итет Джонс а Х опкинс а

Фрэнк Тендик
Крис Ульрих
Пог ружение

Х олли Янко
Мас с анус етс кий универс итет в Лоулле

Глава 3

Дорожная карта сервисной робототехники

1. Введение

Сервисная робототехника определяется как те роботизированные системы, которые помогают людям в повседневной жизни на работе, дома, на отдыхе, а также в рамках помощи инвалидам и пожилым людям. В промышленной робототехнике задача обычно состоит в автоматизации задач для достижения однородного качества продукции или высокой скорости выполнения. Напротив, задачи сервисной робототехники выполняются в пространствах, занятых людьми, и обычно в непосредственном сотрудничестве с людьми. Сервисную робототехнику принято разделять на профессиональную и личную услуги.

Профессиональная сервисная робототехника включает в себя сельскохозяйственное, реагирование на чрезвычайные ситуации, трубопроводы и национальную инфраструктуру, лесное хозяйство, транспорт, профессиональную уборку и различные другие дисциплины. [Профессиональные сервисные роботы также используются в военных целях, но их применение в этой области не включено в этот отчет.] Эти системы обычно дополняют людей для выполнения задач на рабочем месте. По данным IFR/VDMA World Robotics, сегодня используется более 38 000 профессиональных роботов, и рынок быстро растет с каждым годом. Несколько типичных профессиональных роботов показаны на рисунке 1.



Тактический робот PackBotTM



TALON® X авиаробот



Трубопроводный робот ResponderTM



Робот для няни крабби EnvirobotTM

Рисунок 1: Типичные сервисные роботы для профессионального применения

С другой стороны, роботы персонального обслуживания используются для помощи людям в их повседневной жизни в их домах или в качестве помощников для компенсации их умственных и физических ограничений. Самая большая группа роботов для индивидуального обслуживания состоит из бытовых пылесосов; Только по всему миру было продано более 3 миллионов iRobot Roomba, и рынок растет более чем на 60% в год. Кроме того, большое количество роботов было использовано для досуга, таких как искусственные домашние животные (AIBO), куклы,

и т. д. За последние 5 лет было продано более 2 миллионов единиц, поэтому рынок таких роботов для отдыха растет в геометрической прогрессии и, как ожидается, станет одним из самых перспективных в робототехнике. Ряд типичных роботизированных систем персонального обслуживания показаны на РИСУНКЕ 2.



Робот-пылесос Roomba™ Роботизированная система для инвалидов колясок ATRSTM



Робот для чистки бассейна Verro™



LEGO® Mindstorms™ Образовательный

Рисунок 2. Типичные сервисные роботы для персональных приложений.

Панель сервисных роботов включала как профессиональные, так и персональные услуги и, таким образом, охватывала весьма разнообразный набор приложений и проблем.

2. Стратегические выводы

После долгих обсуждений среди присутствующих на встрече было общее согласие, что до появления широкого спектра приложений и решений, включающих полномасштабную общую автономную функциональность, осталось еще 10-15 лет. Некоторые из ключевых технологических проблем, которые необходимо решить для достижения этой цели, обсуждаются в следующем разделе нашего отчета. Однако среди присутствующих было также достигнуто согласие в том, что технология достаточно развита, чтобы обеспечить рост числа ограниченных по масштабу и/или полуавтономных решений, которые являются прагматичными, доступными и приносят реальную ценность.

Коммерческие продукты и приложения, основанные на существующих технологиях, уже начали появляться и ожидается, что их станет еще больше по мере того, как предприниматели и инвесторы реализуют свой потенциал. Участники определили несколько рынков, на которых появятся эти ранние коммерческие решения и где сервисная робототехника, вероятно, окажет наибольшее влияние. Среди определенных областей - здравоохранение, национальная инфраструктура и управление ресурсами, энергетика и окружающая среда, безопасность, транспорт и логистика, а также образование и развлечения.

Одним из ключевых факторов, способствующих выявленным тенденциям, является старение населения. Это влияет на сервисную робототехнику как с точки зрения необходимости решения проблемы сокращения рабочей силы, так и с точки зрения возможности разрабатывать решения, которые удовлетворяют потребности здравоохранения. Как показано на рисунке 3, Соединенные Штаты находятся на пороге 20-летней тенденции, которая приведет к почти удвоению численности пенсионеров в процентах от нынешней рабочей силы; с чуть более 2 пенсионеров на каждые 10 работников сегодня чуть более 4 пенсионеров на каждые 10 работников в 2030 году. В Японии ситуация еще хуже, что послужило толчком к крупной национальной инициативе по разработке технологий робототехники, необходимой для помощи в уходе за быстро стареющим населением. В целом ожидается, что профессиональная сервисная робототехника послужит мультипликатором рабочей силы для ускорения экономического роста, в то время как домашняя сервисная робототехника, как ожидается, обеспечит устойчивую личную автономию.

Соединенные Штаты
находятся на пороге
20-летней
тенденции,

которая приведет к
почти удвоению
числа работающих

пенсионеров в
процентах от нынешней рабочей с

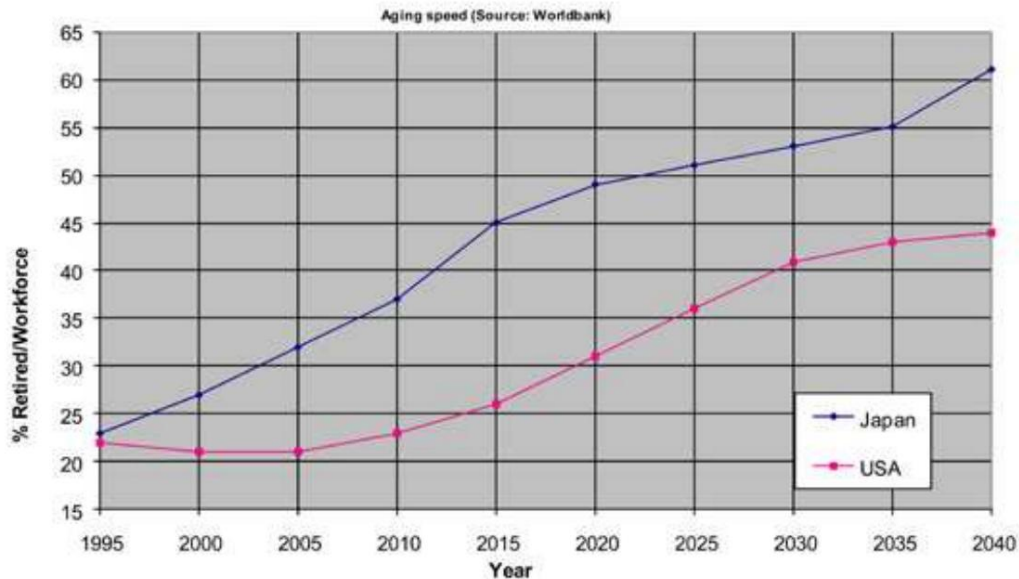


Рисунок 3. Изменения демографической ситуации в США и Японии соответственно.

Хотя повышение производительности и снижение затрат являются общим знаменателем сервисной робототехники, ожидается, что каждая сфера будет уникальным образом обеспечивать убедительное решение определенных критических проблем или потребностей рынка. Например, ключевым и новым стимулом использования робототехники для автоматизации автомобильных заводов было желание добиться стабильного повседневного качества и избежать синдрома «построено в понедельник».

2.1. Основные рынки и драйверы

Здоровье и качество жизни. Нынешнее применение робототехнических технологий для предоставления телеуправляемых решений, таких как хирургическая система da Vinci or Intuitive Surgical, представляет собой верхушку айсберга.

Технологии робототехники обладают огромным потенциалом, позволяющим контролировать расходу, расширять возможности медицинских работников и позволять пожилым гражданам дольше жить в своих домах.

Энергетика и окружающая среда. Участники определили эти два тесно связанных вопроса как критически важные для будущего нашей страны и созревшие для появления приложений робототехники, особенно в областях автоматизации получения энергии и мониторинга окружающей среды.

Производство и логистика. Помимо традиционного применения робототехники для автоматизации определенных функций сборочной линии, участники встречи согласились, что существует огромный потенциал для дальнейшей автоматизации производства и перемещения товаров; как это было полностью изучено в ходе параллельных усилий по составлению дорожных карт в этой области. В частности, технология робототехники обещает преобразовать мелкие масштабыные или «микро» производственные операции и в процессе помочь ускорить возврат производства в Америку. С тех пор это убеждение было подтверждено созданием новой стартап-компании по робототехнике Heartland Robotics, созданной специально для этой цели.

Автомобильная промышленность и транспорт. Хотя до создания полностью автономного автомобиля еще несколько десятилетий, робототехнические технологии уже появляются в виде передовых систем помощи водителю и предотвращения столкновений. Общественный транспорт — еще одна область, которая, как ожидается, будет становиться все более автоматизированной. По мере того, как робототехнические технологии продолжают совершенствоваться и развиваться, беспилотные транспортные системы и решения разработанные для ограниченных по масштабу сфер, таких как аэропорты, будут адаптированы для внедрения в городских центрах и других сферах общественного назначения.

Нац иональная безопас ность и защита инфра структу ры. Учас тники встре чи с ог лас ились, что робототех ничес кие тех нолог ии предлаг ают огром ный потенц иал для применения в ох ране г раниц , поис ково-с пас ательных опе рац иях , портовых инс пекц иях и безопас ности, а также в друг их смежных обла стях . Кроме тог о, ожидае тся, что робототех ничес кие тех нолог ии будут все чащ е использо ваться для автоматизац ии проверки, тех ничес ког о обс луживания и защиты наших нац иональных мостов, автомаг истралей, с ис тем водос набжения и канализац ии, энерг етичес ких трубопроводов и объектов, а также друг их критичес ки важных компонентов инфра структу ры нашей с траны.

Развлечения и образование. Вэтой обла сти, возможно, больше, чем в лю бой друг ой, появилис ь ранние продукты, ос нованные на тех нолог иях робототех ники. В час тнос ти, робототех ника потенц иально с пос обна реш ить кризис нау ки, тех нолог ий, инженерии и математики («STEM»), с которым с талк иваетс я с трана, и с та ть нас тоящ им «четвертым круг ом» образования. Об этом с видетельс твует огром ный ус пех FIRST, некоммерчес кой орг аниз ац ии, ос нованной в 1999 г оду, которая проводит нац иональные с оревнования по робототех нике, чтобы вдох новить молодых лю дей с та ть лидерами в обла сти науки и тех нолог ий, а также друг ие образовательные иниц иативы, вдох новленные робототех никой. Робототех ника предс тавляет детям привлекательную и ос яаемую возмож ность изуч ать и приме нять как ос новные ключевые ос новы математики и науки, так и принц ипы инженерии и с ис темной интег рац ии, необх одимые для с оздания интеллектуальных машин для выполнения определенных задач.

2.2. Ближай шие возмож ности и факторы, влияю щие на коммерц иализац ию

Для реализац ии все х перс пектив, которые мог ут быть дос тиг нуты в каждой из вышеупомянутых обла стей, потребу ютс я значительные инве стиц ии в рас ширение ис следований и разработок робототех ничес ких тех нолог ий. Как отмечалос ь выше, намещ е далеко до полнос тью автономной робототех ники, необ одимой для автоматизац ии проц есс ов до такой с тепени, что не требуетс я никаког о человечес ког о внимания или вмеша тельс тва. Тем не менее, по коллективному мнению прис утс твую щих , дос тиг нут дос таточный прогр есс в робототех нике, чтобы обесп ечить разработку и маркетинг широк ог о спектра первоначальных приложений и продуктов в каждой из этих обла стей для дос тижения значительных уровней «улучшения человека».

Такие решения будут с пос обы в той или иной с тепени автоматичес ки выполнять с ледую щие типы функц ий: мониторинг определенных , но динамичных физичес ких с ред, идентификац ию объектов, обнаружение изменений или иное вос приятие с ос тояния назначенных им с ред, анализ и реко менац ии дей ствий, которые с ледует предпринять в реаг ирование на обнаруженные ус ловия, выполнение таких дей ствий в ответ на команды человека и/или автоматичес кое выполнение таких дей ствий в определенных заранее разрешенных г раниц ах , не нарушае мых лю дьми-операторами.

Примеры таких робототех ничес ких решений с ег одня вклю чают с ис темы дис танц ионног о управ ления, такие как х ирург ичес кая с ис тема da Vinci, и автономные с пец иализированные инс трументы повышения произво дительнос ти, такие как Roomba. Поско льку Интернет продолжает развиваться, он будет с пос обс твовать ес тественному перех оду от вос приятия на рас с тоянии к дей ствию на рас с тоянии. Такое рас прос транение Интернета на физичес кий мир пос лужит дальнейшему с тиранию г раниц между с ообщес твом, коммуникац ией, компью терами и ус луг ами и вдох новит на новые измерения в приложениях теле работы и телеприс утс твия. Вероятно, появяс я г ибридные решения, которые обесп ечат рас пределенное человечес кое познание и эффективное ис пользование человечес ког о интеллекта. Такие решения будут с очетать в с ебе возмож ности робототех ники и удаленно и автономно вос принимать с итуац ии, требую щие вмеша тельс тва, с возмож ностью ис пользования Интернета, позволяю щей опе раторам-человекам предпринимать дей ствия на рас с тоянии только по мере необх одимос ти.

Как упоминалос ь выше, с тарение нашег о нас еления приведет к буду щей нех ватке рабочей с илы. По мере тог о, как работники с тремятс я продвинутьс я вверх по должнос тной иерарх ии, будет возрас та ть потребнос ть в рас ширении и все большей автоматизац ии работ внизу, пос кольку работники, выполняю щие их , мог ут быть недос тупны и в конечном итог е мог ут вообще не сущес твовать. Х отя задача дос тижения полнос тью автономных решений в долг ос рочной перс пективе ос таетс я в первую очередь тех нолог ичес кой, в ближай шей перс пективе задача заклю чае тс я в инве стировании в нау ку разработ ки.

требования и иным образом определить, как лучше всего его «преодолеть пропасть»; это один из способов определения правильных ценностных предложений, с нижением затрат, разработки эффективных и действенных процессов с истинно о проектирования, определения того, как лучше всего интегрировать такие решения в существующие или адаптированные, а также иносугтранения пробелов в ноу-хау при переходе технологий в продукты.

2.3. Научно-технические задачи

Участники семинара работали в трех секционных группах для выявления технических и научных проблем, связанных с приложениями и бизнес-факторами, описанными в предыдущем разделе. Первая секционная группа сосредоточилась на разработке приложений и систем; Вторая группа обсуждала действия, познание, планирование и другие элементы роботизированного интеллекта; и последняя группа выявила проблемы во взаимодействии человека с роботом. В этом разделе суммированы их выводы. Поскольку проблемы, выявленные тремя группами, охватывают границы между соответствующими тематическими областями, мы представим технические и научные проблемы, выявленные отдельными группами, комплексно. Акцент в этом разделе делается на описании проблем, а не на составлении плана действий по их решению — такой план будет изложен в следующем разделе.

2.3.1. Мобильность

Мобильность стала одной из историй успехов исследований в области робототехники. Примером этого успеха является ряд систем, продемонстрировавших высокую эффективность в реальных условиях, включая музейные гиды и автомобили с автономным управлением, как, например, в DARPA Grand Challenge и Urban Challenge.

Тем не менее, участники семинара согласились, что ряд важных открыток проблем остается

Поиск решений этих проблем в области мобильности будет необходим для достижения уровня автономности и универсальности, необходимого для выявленных областей применения.

3D-навигация Участники определили одну из важнейших задач в сфере мобильности.

В настоящее время большинство картографических, локализационных и навигационных систем полагаются на двумерные представления мира, такие как карты улиц или планы этажей. Однако по мере того, как роботизированные приложения используются и развертываются каждый день, населенные слесы становятся все более неструктурированными и менее контролируемые, этих 2D-представлений будет недостаточно для отражения всех аспектов мира, необходимых для общих задач. Поэтому будет важно обеспечить возможность получения трехмерных моделей мира для поддержки навигации и манипулирования (см. следующий раздел). Эти трехмерные представления должны содержать не только геометрическую схему мира; Вместо этого карты должны содержать соответствующую задачу семантическую информацию об объектах и их отношениях окружающей среды. Современные роботы хорошо понимают, где что находится в мире, но они практически не понимают, что это такое. Когда мобильность осуществляется ради манипулирования представлениями окружающей среды также должны включать возможности объекта, т.е. знание того, для чего робот может использовать объект. Достижение семантической трехмерной навигации потребует новых методов зондирования, восприятия, картографирования, локализации, распознавания объекта, распознавания возможностей и планирование. Некоторые из этих требований обсуждаются более подробно далее в этом разделе.

Одной из перспективных технологий семантического 3D-картирования, по мнению участников, является использование различных типов датчиков для построения карт. В настоящее время роботы полагаются на высокоточные лазерные измерительные системы для изучения окружающей среды, используя алгоритмы картографирования, известные как алгоритмы «SLAM». Участники обозначили желание отойти от лазеров к камерам, развивать новое направление «визуальный SLAM» (VSLAM). Эта технология опирается на камеры — надежные, дешевые и легкодоступные датчики — для картографирования и локализации в трехмерном мире. Уже сегодня системы VSLAM демонстрируют впечатляющую производительность в режиме реального времени. Поэтому участники полагали, что VSLAM, вероятно, сыграет роль в разработке адекватных и более доступных возможностей 3D-навигации.

Участники определили дополнительные требования к 3D-навигации, которые будут иметь решающее значение для удовлетворения требований целевых приложений. Наружная 3D-навигация ставит ряд важных задач, которые необходимо решить. Среди них тот факт, что текущие 2D-представления окружающей среды не могут отразить ни сложность внешней среды, ни изменяющиеся условия, которые вызывают существенные различия в работе датчиков. Участники также назвали надежную навигацию в толпе важной проблемой мобильности.

2.3.2. Манипуляция

Практически для всех приложений сервисной робототехники, указанных в предыдущем разделе, необходимым ресурсом в манипулировании. Эти приложения требуют, чтобы робот физически взаимодействовал с окружающей средой, открывая двери, поднимая предметы, управляя машинами и устройствами и т. д. В настоящее время автономные системы манипулирования орошо функционируют в тщательно спроектированных и строго контролируемых средах, таких как заводские цепи и сборочные цепи, но не могут справиться с изменчивостью и неопределенностью окружающей среды, связанными с открытыми, динамическими и неструктурированными средами. В результате участники всех трех групп назвали автономные манипуляторы важнейшей областью научных исследований. Хотя никаких конкретных направлений прогресса не было выявлено, дискуссию показали, что основные предположения большинства существующих алгоритмов манипуляций не будут удовлетворены в областях применения, на которые направлены эти усилия. Захват и манипулирование, подходы для приложений в открытых, динамических и неструктурированных средах, должны использовать предварительные знания и модели среды, когда это возможно, но не должны приводить к катастрофическим сбоям, когда такие предварительные знания недостоупны. Как следствие, по-настоящему автономное манипулирование будет зависеть от способности робота получать адекватные, соответствующие задаче модели окружающей среды, когда они недостоупны. Это означает, что — в отличие от большинства существующих методов, которые делают упор на планирование и контроль, — восприятие становится важным компонентом исследовательской программы в направлении автономного манипулирования.

Участники назвали новые роботизированные руки (обсуждаемые в подразделе «Оборудование»), тактильное восприятие (с м. «Ощущение и восприятие») и высокоточные, физически реалистичные симуляторы как важные потребности автономного манипулирования.

Участник предположил, что грамотные операции «выбора и размещения» могут обеспечить достаточную функциональную основу для требований манипулирования многих целевых приложений. Поэтому было высказано предположение, что операции выбора и размещения в большей сложности и универсальности могут стать дорожной картой и ориентиром для исследовательских усилий в области автономных манипуляций.

Практически для всех

приложений сервисной робототехники необходимо существенный прогресс в манипулировании.

2.3.3. Планирование

Исследования в области планирования движений достигли заметного прогресса за последние десятилетия. Полученные в результате алгоритмы и методы повлияли на множество различных областей приложений. Тем не менее, участники согласились, что надежное динамическое планирование траектории в 3D остается открытой проблемой. Важным аспектом этой проблемы является итерационная осведомленность робота, т.е. способность робота автономно комбинировать, чередовать и интегрировать планирование действий с соответствующим зондированием и моделированием окружающей среды. Термин «подход» подразумевает тот факт, что робот не может получить полные и точные модели окружающей среды в реальном времени. Вместо этого необходимо будет рассмотреть оценок, окружающей среде и достижимых сенсорных и двигательных действий, достижимых роботу. В результате граница между планированием и планированием движения стирается. Чтобы спланировать движение,

Планировщик должен координировать зондирование и движение в соответствии с ограничениями, налагаемыми задачами. Для надежного и надежного достижения поставленных целей при планировании необходимо учитывать экологические возможности. Это означает, что планировщик должен учитывать взаимодействие с окружающей средой и объектами в ней как часть процесса планирования. Например: чтобы взять предмет, может потребоваться открыть дверь, чтобы перейти в другую комнату, отодвинуть стул, чтобы добраться до шкафа, открыть дверь шкафа и вытолкнуть мешающий предмет. пути. В этой новой парадигме планирования в центре внимания находятся задачи и ограничения, налагаемые задачами и окружающей средой; «движение» «планирования движения» является средством достижения цели. Ограничения учитываемые во время планирования могут возникать из-за манипуляций с объектами, передвижения (например, планирования шагов), кинематических и динамических ограничений механизма, ограничений положения или отклонения от препятствий. Планирование в условиях этих ограничений должно осуществляться в режиме реального времени.

Некоторые ограничения на движение робота легче всего реализовать с помощью обратной связи датчиков. Очевидными примерами являются ограничения контакта и избегание препятствий. Область планирования обратной связи поэтому интеграция контроля и планирования являются важными областями исследований, направленных на удовлетворение требований планирования, определенных участниками. Планировщик обратной связи генерирует политику, которая напрямую описывает состояние действиями, а не создает конкретный путь или траекторию. Это гарантирует, что неопределенности датчиков, сбываний и моделирования могут быть адекватно учтены с использованием сенсорной обратной связи.

Повышенная сложность планирования в этом контексте также потребует новых способов записи и описаний задач. В то время как в классическом планировании движения спецификация двух конфигураций полностью определяет задачу планирования, описанный здесь подход к планированию должен обрабатывать гораздо более богатые представления задач, чтобы учитывать богатство задач манипулирования и промежуточных взаимодействий с окружающей средой.

Участники также осознают необходимость формальных методов для выполнения проверки и валидации результатов планировщиков. Такие гарантии могут потребоваться для обеспечения безопасной эксплуатации роботов в средах, населенных людьми.

2.3.4. Чувство и восприятие

Ощущение и восприятие имеют первостепенное значение для аспектов робототехники, включая мобильность, манипулирование и взаимодействие человека и робота. Участники были убеждены, что инновации в области сенсорики и восприятия окажут глубокое влияние на темпы прогресса в робототехнике.

Участники считали, что новые методы зондирования также более совершенные, более дешевые версии существующих методов с более высоким разрешением затронут областями важного прогресса. Например, участники ожидают значительных успехов в манипулировании и мобильности от плотного отрезмерного зондирования возможно, с помощью лидара. Достижения в области ловких манипуляций, вероятно, потребуют использования в роботизированных руках тактильных датчиков, подобных коже. Но участники обсудили и специализированные датчики, например датчики безопасности, называемые датчиками безопасности. Эти датчики могут принимать различные формы, например, датчики растяжения или тепла для обнаружения прикосновения, или могут быть реализованы в виде специализированных датчиков крутящего момента как часть исполнительного механизма, способного обнаруживать неожиданный контакт между роботом и окружающей средой. В эту категорию также попадают кожные датчики для внешнего роботизированного механизма.

Данные, поступающие с помощью сенсорных модальностей, должны обрабатываться и анализироваться с помощью алгоритмов восприятия в ложных и высокочастотных средах в различных условиях, включая различия между днем и ночью, а также такие факторы, затрудняющие восприятие, как туман, мгла, яркий солнечный свет и тому подобное.

Участники определили необходимость прогресса в моделировании, обнаружении и распознавании объектов высокого уровня, в улучшении понимания сцены и в улучшении способности обнаруживать действия и намерения. Для поддержки типа планирования, описанного в предыдущем подразделе, необходимы новые алгоритмы распознавания возможностей.

Участники также обсудили необходимость точных моделей датчиков для поддержки алгоритмов восприятия.

2.3.5. Парадигмы архитектуры, познания и программирования

Дискуссии на темы мобильности, манипулирования, планирования и восприятия показали, что эти проблемы нельзя рассматривать изолированно, они неразрывно связаны друг с другом. Вопросы о том, как спроектировать систему для эффективной интеграции конкретных навыков из этих областей для достижения безопасного, надежного, целенаправленного или даже интеллектуального поведения, остаются открытым вопросом фундаментальной важности в робототехнике. Исследования, направленные на достижение этой цели, проводились под названием «парадигмы архитектуры, познания и программирования». Такое разнообразие подходов или даже философских точек зрения может отражать отставание понимания в обществе того, как адекватно решить эту проблему. Это разнообразие точек зрения также отражает разнообразие инструментов, используемых в настоящее время для решения этой проблемы: они варьируются от имитационного обучения до нового программирования так называемых когнитивных архитектур. Некоторые участники считали, что для достижения желаемого результата, вероятно, потребуется сочетание этих мер.

Одним из классических подходов к решению всеобъемлющей проблемы создания устойчивого, автономного поведения является цикл «чувство/планирование/действие», обычно используемый в современных системах управления. Показательным примером является постоянное явление в исследованиях робототехники на протяжении последних нескольких десятилетий, некоторые участники считали, что новые подходы, вероятно, будут отличаться от этого подхода в его простейшей форме. Возможными альтернативами являются множественные вложенные или иерархические циклы, подход, основанный на поведении, комбинации этих двух или, возможно, даже совершенно новые подходы.

Все участники согласились, что эта область исследований потребует существенного внимания и прогресса на пути к автономным роботизированным системам.

2.3.6. Взаимодействие человека с роботом (HRI)

Учитывая конечную цель внедрения мобильных и ловких роботов в среду обитания человека для обеспечения ощущения и сотрудничества, потребуются существенный прогресс в области взаимодействия человека-робота. Эти взаимодействия также могут стать важным компонентом комплексного подхода к устойчивому поведению роботов, как обещалось в предыдущем подразделе. Робот может научиться новым навыкам в результате взаимодействия с людьми, но при любых обстоятельствах он должен осознавать обязанности и требования своего общения с людьми.

Помимо сообщений общения (вербальное, невербальное, жестовое, мимика и т. д.) участники определили ряд важных тем исследований, включая социальные отношения, эмоции (узнавание, презентация, социально-эмоциональное познание/моделирование), вовлеченность и доверие.

Понимание этих аспектов общения человека-робота должно привести к автоматическому структурированию взаимодействия между людьми и роботами, при котором присутствие роботизированных систем работать независимо возрастает или снижается по мере автоматического изменения как задачи, так и взаимодействия человека-контролера с системой.

Прогресс в достижении этих целей будет зависеть от эффективных устройств ввода и интуитивно понятных пользовательских интерфейсов. Участники также выступали за разработку различных платформ для изучения HRI, включая роботов-гуманоидов, мобильные платформы для манипуляций, инвалидные коляски, экзоскелеты и транспортные средства. Участники определили цикл проектирования/создания/развертывания, в котором должны развиваться исследования HRI. В процессе проектирования следует учитывать вклад ряда соответствующих сообществ, включая сообщество фундаментальных исследований и конечных пользователей. Процесс сборки объединяет многочисленные компоненты и направления исследований в единую систему; Здесь есть возможность для отраслевого сотрудничества и трансфер технологий. Наконец, интегрированная система развертывается в реальном контексте. Участники предложили идею «Города роботов» (с соответствующим подразделом) как многообещающую идею для оценки HRI в реальном контексте. Цикл завершается включением отзывов конечных пользователей в экспериментальный проект следующего итерационного цикла проектирования/сборки/развертывания.

2.3.7. Исследовательская инфраструктура

Участники семинара были твердо убеждены, что быстрый прогресс в достижении поставленных научных целей будет в решающей степени зависеть от широкой доступности адекватной исследовательской инфраструктуры, включая аппаратное и программное обеспечение. Для решения вышеперечисленных исследовательских задач необходимо будет создать роботизированные платформы, сочетающие в себе множество современных и взаимодействующих механических компонентов, обеспечивающих адекватные возможности для мобильности, манипулирования и восприятия. Эти платформы будут управляться множеством независимых разработанных, но взаимозависимых работающих программных компонентов. В результате эти интегрированные роботизированные платформы демонстрируют степень сложности, превышающую ту, которую мог бы легко спроектировать, разработать, протестировать и обслуживать много независимых действующих исследовательских групп. Отсутствие стандартизации аппаратных и программных платформ может также привести к фрагментации исследовательского сообщества, трудностям в оценке достоверности и общности опубликованных результатов, а также к повторению большого количества ненужных инженерных и интеграционных усилий.

Чтобы преодолеть эти проблемы, участники семинара выступили за скоординированные усилия сообщества по разработке аппаратных и программных систем. Эти усилия должны включать разработку открытой экспериментальной платформы, которая с одной стороны, будет поддерживать широкий спектр исследовательских работ, а с другой — позволит повторно использовать технологии и программное обеспечение исследовательскими группами. Одним из примеров такой открытой платформы является ROS, операционная система для роботов, разрабатываемая Willow Garage, которая позволяет повторно использовать код и предоставляет услуги, которые можно ожидать от операционной системы, такие как низкоуровневое управление устройствами, реализация часто используемых функций, и передача сообщений между процессами. В идеале такие платформы должны дополняться программным обеспечением для физического моделирования для поддержки ранней разработки и тестирования алгоритмов без ущерба для безопасности исследователей и оборудования. Усилия по разработке также могут выиграть от роботизированных интегрированных сред разработки (IDE); Эти IDE обеспечивают модульность при разработке программного обеспечения тем самым упрощая повторное использование и документирование.

Участники отметили, что исследования в области робототехники редко тщательно оцениваются и проверяются в четко определенных, повторяемых экспериментах. Другие области, такие как компьютерное зрение, значительно выиграли от общедоступных наборов данных, которые позволили объективно сравнивать различные алгоритмы и системы. Поэтому участники предложили создать и расширить хранилища экспериментальных данных, которые затем могли бы служить ориентирами для всего сообщества. Однако, поскольку большая часть исследований в области робототехники сосредоточена на физическом взаимодействии между роботом и окружающей средой, электронные наборы данных не являются надежными. Их следует дополнять критериями конкретных навыков, состоящими из физических объектов. Например, ряд легкодоступных объектов можно выбрать в качестве ориентира для понимания исследования. Более того, были предложены целые тестовые среды для разработки, оценки и сравнения их производительности по отношению к конкретному приложению или реализации.

Такие среды могут варьироваться по размеру и сложности: от простого рабочего места (офисный стол или кухонная стойка) до целой комнаты, дома или целого городского квартала. В этом контексте было упомянуто понятие «Город роботов»: обычная городская среда, в которой все жители участвуют в эксперименте и помогают в оценке, а также в определении адекватных требований для среды повседневного применения.

Многие из предлагаемых усилий, в частности усилия по интеграции аппаратного и программного обеспечения, выходят за рамки существующих программ финансирования. Участники отметили, что изменение политики в этом отношении будет необходимо, чтобы гарантировать, что доступность исследовательской инфраструктуры не станет узким местом на пути к автономным роботизированным системам повседневной жизни.

2.3.8. механическое оборудование

Безопасность является решающим фактором при развертывании роботизированных систем в среде обитания человека. Безопасные по своей сути роботы также обеспечивают взаимодействие человека с роботом, которые могут повысить признание робототехнических технологий в повседневной жизни. Поэтому участники считали, что более безопасные двигатели и механизмы с повышенным соотношением прочности и веса будут представлять собой важную технологию. В таких механизмах желательным свойством было бы переменное сопротивление. Концепция переменной податливости относится к способности механизма приспособлять свое поведение к силам реакции при контакте с окружающей средой. Эти силы реакции могут варьироваться для разных задач. Такие механизмы обеспечивают безопасную работу, особенно при взаимодействии с людьми, а также гибкие, надежные и грамотные движения при контакте с окружающей средой. Кроме того, энергоэффективность была определена как критическая проблема для многих приложений, поскольку роботам придется работать без приваев в течение длительных периодов времени. Наконец, необходимы новые или улучшенные способы передвижения помимо колес, чтобы обеспечить безопасную и надежную работу в помещении и на открытом воздухе. Наружная редакция демонстрирует весьма изменчивые свойства рельефа, в то время как на открытом воздухе могут быть лестницы, пандусы, эскалаторы или лифты.

Участники назвали очень ловкие и легко управляемые роботизированные руки важной областью исследований. Прогресс в области роботизированного захвата и манипулирования скорее всего, будет идти рука об руку с разработкой новых ручных механизмов. В то же время участники почувствовали, что потенциал нынешних ручных технологий не полностью реализован существующими алгоритмами захвата и манипулирования. Поэтому немаловажно, чтобы многие интересные и актуальные приложения могли быть реализованы с помощью доступного оборудования и манипуляций с ним.

3. Ключевые проблемы/возможности

3.1. Мотивирующие сценарии

3.1.1. Качество жизни

Ожидается, что робототехнические технологии внесут огромный вклад в жизнь пожилых людей и людей с ограниченными возможностями. Одним из таких примеров существующего приложения является революционное решение для транспортной мобильности, которое позволяет людям с ограниченной подвижностью, использующим инвалидные коляски, самостоятельно садиться в свои транспортные средства и выходить из них, а также удаленно загрузить и выгрузить свои инвалидные коляски из широкого спектра транспортных средств. Эта система позволяет людям, зависящим от инвалидных колясок, перевозить свою инвалидную коляску с помощью обычного пассажирского фургона и получать к ней доступное время без помощи других, предлагая им ранее недоступную степень свободы и независимости. Эта система обеспечивает значительные преимущества по сравнению с существующими решениями для транспортной мобильности, включая более низкую стоимость владения, возможность использовать стандартные автомобильные сиденья прошлых лет, большой выбор необходимых транспортных средств, отсутствие структурных модификаций и возможность переустановки на следующие автомобили.



Роботизированная система инвалидных колясок ATRSTM

3.1.2. сельскохозяйственное

Ожидается, что технология робототехники повлияет на множество применений в сельскохозяйственном и решит постоянную борьбу фермеров за снижение затрат и повышение производительности. Для эффективной работы механических комбайнов и многих других сельскохозяйственных машин требуются опытные водители, в то время как такие факторы, как затраты на рабочую силу и усталость оператора, увеличивают расходы и ограничивают производительность этих машин. Автоматизация таких операций, как опрыскивание посевов, сбор урожая и сбор урожая, обещает снижение затрат, повышение безопасности, повышение урожайности, повышение эксплуатационной гибкости, включая операции в ночное время и сокращение использования химикатов. Был разработан ряд таких прототипов систем и приложений, включая автоматическое опрыскивание фруктовых культур и сбор урожая полевых культур, и в настоящее время технология достигла уровня, что она готова к переходу для дальнейшей коммерциализации и развертывания на полях в течение следующих нескольких лет.



Автономный трактор

3.1.3. Инфраструктура

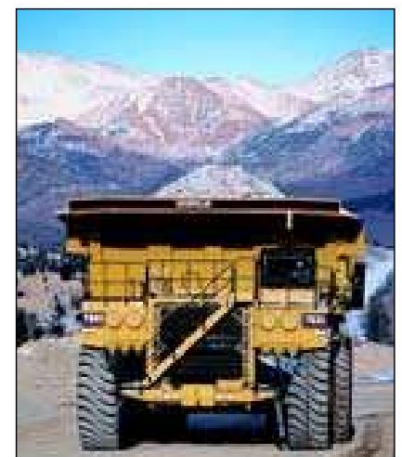
Технологии робототехники обладают огромным потенциалом для автоматизации проверки и обслуживания мостов, автомагистралей, трубопроводов и другой инфраструктуры нашей страны. Технология уже адаптирована для разработки автоматизированных систем проверки трубопроводов, которые сокращают затраты на техническое обслуживание и восстановление за счет предоставления точной и подробной информации о состоянии труб. Такие системы, основанные на передовых мультисенсорных и других робототехнических технологиях, предназначены для подземных сооружений и условий, которые иначе трудно проверить, в том числе труб большого диаметра, участков большой протяженности, перевернутых труб, венцов, водопроводных труб и люков, а также находящихся в эксплуатации инспекции. Эти роботизированные платформы перемещаются по критически важной инфраструктуре с точных вод, проверяя канализационные трубы, недоступные традиционными средствами, и создают очень точные трехмерные изображения внутренней поверхности труб. Информация о проверке, записанная в цифровой форме, служит основой для будущих проверок и, как следствие, позволяет автоматически рассчитывать изменения дефектных характеристик с течением времени.



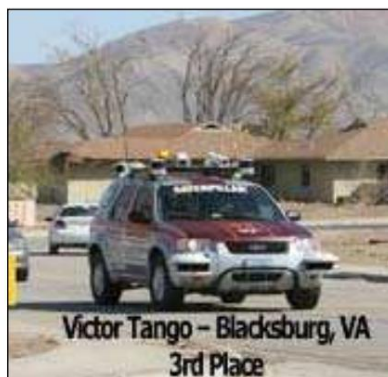
Трубопроводный робот ResponderTM

3.1.4. Добыча

Технологии робототехники уже начинают оказывать существенное влияние как на подземную, так и на наземную горнодобывающую промышленность. Например, инновационная система контроля лент, использующая вычислительную систему «машинного зрения» и алгоритмы программного обеспечения для мониторинга состояния конвейерных лент и помощи операторам в обнаружении дефектов, ежедневно используется на нескольких подземных угольных шахтах. Запатентованная система предназначена для сокращения дорогостоящих простоев, вызванных износом и возможным разрывом стыков конвейерной ленты. В более широком масштабе робототехнические технологии используются для разработки автономных версий больших самосвалов, используемых в горнодобывающих операциях. Компания Caterpillar недавно объявила, что разрабатывает автономную систему горной перевозки и планирует к 2010 году интегрировать автономные самосвалы грузоподъемностью 240 тонн и более на некоторые горнодобывающие объекты. Автономная технология предназначена для повышения производительности за счет большей производительности в работе, процессов и минимизировать воздействие на окружающую среду за счет повышения эффективности и общей безопасности шахт.



Автономный самосвал



Трое лучших финалистов конкурса DARPA Urban Grand Challenge 2008 г.

3.1.5. транспорт

В ближайшие десятилетия робототехника существенно повлияет на все аспекты того, как мы перевозим людей и товары; От персональных транспортных систем до интеллектуальных автомобилей и автономных систем общественного транспорта. Такие компании, как Segway и Toyota, представили персональных транспортных роботов, которые ездят стоя и контролируются внутренними датчиками, которые постоянно отслеживают положение водителя и автоматически вносят соответствующие коррективы. Тем временем автопроизводители и производители устройств создают «умные автомобили», устанавливая более мощные компьютеры и датчики, которые дают водителям лучшее представление об окружающей среде и характеристиках автомобиля.

Хотя американские водители проезжают почти в два раза больше миль (1,33 триллиона в год), чем 25 лет назад, пропускаясь по обочине дорог, по которым они ездят, увеличилась всего на 5 процентов, что приводит к задержкам водителей на 3,7 миллиарда часов и 2,3 миллиарда галлонов потраченного впустую топлива. Чтобы решить эту проблему, дорожные агентства пытаются создать «умные дороги», устанавливая датчики, камеры и автоматические считыватели дорожных знаков, а также была запущена государственная инициатива под названием «Интеграция инфраструктуры транспортных средств» (VII) с целью объединения «умных» автомобилей и «умных» дорог для создания сети виртуальной дорожной информации и выхода из тупика.

Ожидается, что в системах общественного транспорта также будут внедрены робототехнические технологии, которые обеспечат операторам большую ситуационную осведомленность и помощь в навигации в переполненных городских коридорах, тем самым помогая контролировать расходы и повышать безопасность.

3.1.6. Образование

Робототехника уже начала преобразовывать американские классы. Робототехника ставит академические конечные цели в контекст и использует на всех уровнях школьного и высшего образования. Робототехника предоставляет учащимся практические и интегрированные средства для изучения основных конечных целей математики, физики, информатики и других дисциплин STEM, одновременно позволяя учителям знакомить с конечными целями дизайна, инноваций, решения проблем и командной работы. Разработана учебная программа по робототехнике, подготовлены преподаватели, ежегодно по всей стране проводятся соревнования. Пожалуй, самые известные программы соревнований по робототехнике проводятся FIRST, некоммерческой организацией, основанной в 1999 году с целью вдохновить молодых людей стать лидерами в области науки и технологий. Учитывая растущую популярность соревнований по робототехнике, FIRST ожидает, что в следующем году в их соревнованиях примут участие более 195 000 студентов. Еще более важно, что недавнее исследование Университета Брандейса показало, что участники FIRST более чем в два раза чаще делают карьеру в области науки и технологий, чем студенты, не участвовавшие в FIRST, с аналогичным образованием.



Участники Первой Lego League™

и академический опыт. Хотя был достигнут значительный прогресс, с точки зрения потенциального влияния робототехники на образование только поверхностно. Чтобы более полно реализовать этот потенциал, роботам необходимо делать более доступными, недорогими и простыми в использовании как для учащихся так и для преподавателей.

3.1.7. Национальная безопасность и оборона

Использование робототехнических технологий для национальной безопасности и обороны продолжает расти, поскольку инновационные технологии улучшили функциональность и эффективность поисково-спасательных работ, наблюдения, противодействия взрывчатым веществам, обнаружения пожаров и других приложений. Беспилотные системы наблюдения обнаружения и реагирования могут использовать роботизированные платформы, стационарные датчики и сети управления и контроля для потенциального мониторинга и патрулирования отечественной приграничной местности, обнаружения и обнаружения химических/биологических/радиоактивных/ядерных веществ./ взрывоопасные угрозы и обследовать большие периметры, связанные с границами, электростанциями или аэропортами. Такие системы позволяют сотрудникам службы безопасности автоматически обнаруживать потенциальные угрозы, осуществлять первый осмотр безопасности с точки зрения атак, а также при необходимости обеспечивать первоначальное вмешательство и пресечение в точке вторжения. В то время как другие «упаковываемые человеком» роботы, оснащенные такими приборами, как инфракрасные камеры, датчики ночного видения и радары миллиметрового диапазона, использовались в местах стихийных бедствий, включая Всемирный торговый центр, для поиска жертв.



Завалы на месте стихийного бедствия

3.2. Дорожная карта возможностей

Ниже мы определяем ключевые проблемы, которые необходимо решить, и ключевые возможности, которые необходимо развивать, чтобы создать сервисных роботов, способных решать вышеупомянутые мотивационные сценарии. На рисунке 4 представлен обзор предлагаемой дорожной карты и остальной части этого документа. В правом столбце размера указаны области применения, многие из которых описаны в приведенных выше мотивирующих примерах сценариев. Значительные достижения в этих областях применения могут быть реализованы только в том случае, если станет доступным ряд возможностей для автономных сервисных роботов. Эти возможности перечислены в середине рисунка и более подробно описаны в разделе 3. Для достижения необходимого уровня компетентности в этих областях требуются устойчивые инвестиции в исследование и разработку в ряде фундаментальных областей исследований и технологий. На рисунке 4 наряду с таблицей показаны эти области исследований и технологий в левом столбце; более подробно они описаны в разделе 4.

3.2.1. Человеческое ловкое манипулирование

Даже простые задачи, такие как сбор неизвестных объектов, по-прежнему представляют собой серьезную исследовательскую проблему. Уровень ловкости и способностей к физическому мышлению, необходимый для автономного манипулирования в контексте профессиональной и бытовой робототехники, кажется недостижимым. Насущные проблемы в этой области включают адекватные датчики и связанные с ними способности восприятия, ловкие руки и безопасные манипуляторы, планирование в условиях неопределенности, расширенный контроль, обучение и передачу навыков, а также моделирование и симуляцию.

Некоторые участники полагали, что требуемая компетентность в манипулировании может быть достигнута только тогда, когда эти различные области развиваются скоординированно, а не изолированно. Например, новые тактильные датчики, подобные коже, открывают большие перспективы для ловких манипуляций руками. Однако у нас нет алгоритмов для обработки данных с таких датчиков. Вполне возможно, что методы компьютерного зрения могут интерпретировать тактильную информацию как изображение и, следовательно, способны вычислять полезные данные.

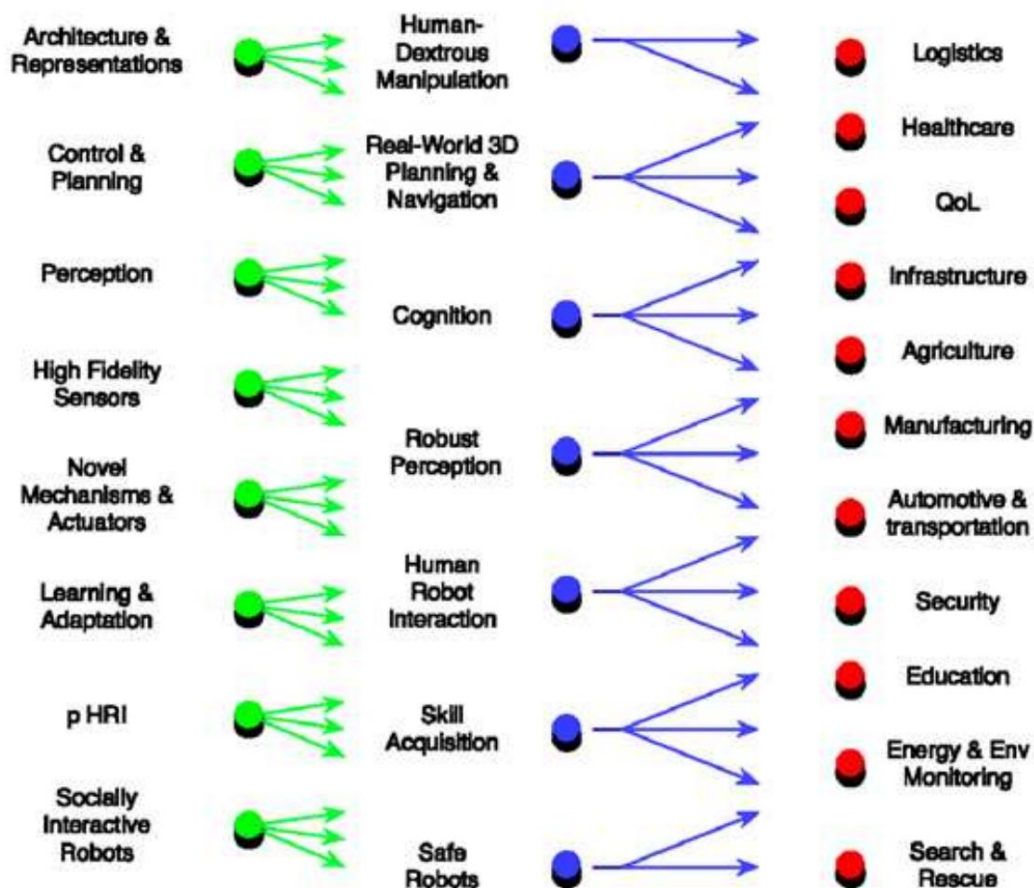


Рисунок 4. Обзор дорожной карты бытовой и промышленной сервисной робототехники. Постоянные исследования и разработки в областях фундаментальных исследований в крайнем правом столбце рисунка позволяют реализовать ряд элементарных возможностей, показанных в среднем столбце рисунка. Эти возможности, в свою очередь, способствуют прогрессу в областях применения указанных справа.

абстракции многомерных тактильных данных. В то же время использование алгоритмов компьютерного зрения может позволить разработать более простые тактильные датчики, которые содержат простую локальную предварительную обработку, адаптированную к конкретным алгоритмам, которые они поддерживают.

Через 5, 10 и 15 лет при условии постоянных исследований и разработок можно достичь следующих целей:

5 лет: Роботы выполняют ограниченные задачи по сбору и размещению дома и на производстве; Роботы способны надежно открывать двери и шкафы. Эти задачи манипуляций решаются часами за счет проектирования окружающих среды, часами за счет оснащения роботов специализированными (или, по крайней мере, не очень общего назначения) конечными органами, а также за счет упрощения предположений относительно окружающей среды.

10 лет: Роботы уверенно манипулируют большими, захватываемыми, жесткими, возможно, шарнирно-сочлененными объектами и инструментами, не обладая априорными моделями. С опытом роботы улучшают надежность и применимость навыков манипулирования и захвата. Роботы приобретают обобщенные знания о манипуляциях, чтобы предоставлять им информацию об использовании объектов и инструментов, даже если они раньше с ними не сталкивались.

15 лет: Роботы обладают руками с почти человеческим уровнем механической ловкости. Руки покрыты тактильной кожей высокого разрешения. Роботы способны выполнять надежные, сенсорные, четкие и несхватывающиеся манипуляции с объектами. Они обладают рудиментарными способностями манипулировать гибкими объектами.

3.2.2. Реальное 3D-планирование и навигация

Автономные сервисные роботы выполняют задачи, перемещаясь по окружающей среде и взаимодействуя с ней. Эти движения и взаимодействия необходимы для достижения поставленной задачи путем изменения позы робота и перемещения объектов в окружающей среде. Выполнение задачи может потребовать сложных последовательностей движений и взаимодействий; Роботу, возможно, придется переместиться из одной комнаты в другую или открывать двери, убирать препятствия с его пути, удалять препятствия или использовать инструменты. Чтобы достичь такого уровня компетентности, необходимо добиться ясного представления о прогрессе с точки зрения планирования движения, планирования задач и контроля. Исторически эти области развивались изолированно. Однако проблемы, возникающие при использовании сервисной робототехники, можно решить только путем тесной интеграции этих технологий.

Рассмотрим задачу подобрать чашку, доступ к которой затруднен коробкой. Чтобы убедиться, что можно толкнуть коробку в сторону, чтобы поднять чашку, робот должен учитывать свои собственные возможности, геометрию сцены, ограничения налагаемые срабатыванием ограничений на суставы, динамику контакта и трение, возникающие при толкании коробки, и т. д.

Чтобы убедиться, что мир таким образом, чтобы можно было определить соответствующую последовательность действий и движений, робот должен знать свое окружение. Не вся необходимая информация может быть предоставлена роботу заранее, поскольку сервисные роботы работают в неструктурированной и динамичной среде.

Поэтому робот должен обладать способностями воспринимать и отображать окружающую среду. «Семантическое картографирование» предоставляет роботу информацию об окружающей среде, необходимую для достижения задачи. Обнаружение и распознавание объектов, а также соответствующие навыки восприятия предоставляют информацию для семантического описания и манипулирования объектами.

Через 5, 10 и 15 лет при условии продолжения исследований и разработок можно достичь следующих целей:

5 лет: Роботы в исследовательских лабораториях могут безопасно и надежно перемещаться в неструктурированной 2D-среде и выполнять простые задачи по выбору и размещению. Соответствующие объекты либо входят в очень ограниченный набор, либо обладают специфическими свойствами. Роботы изучают семантические карты окружающей среды посредством исследования и взаимодействия, а также посредством инструкций от людей. Они способны справиться с задачами средней сложности, такими как устранение препятствий, открытие шкафов и т. д. для получения доступа к другим объектам.

10 лет: При наличии приближенной и, возможно, неполной модели статической части среды (возможно, заданной априорно или полученной из баз данных в Интернете и т. д.), сервисные роботы способны надежно планировать и выполнять целенаправленное движение в обходивание задачи мобильности или манипуляции. Робот формирует глубокое понимание окружающей среды на основе восприятия взаимодействия и инструкций. Робот модифицирует свое окружение, чтобы увеличить шансы на выполнение своей задачи (удаляет объекты, преодолевает препятствия, включает свет), а также может обнаруживать некоторые опасности и противостоять им.

15 лет: Сервисные роботы могут выполнять высококороткие, мобильные манипуляции без столкновений в совершенно новых, неструктурированных, динамичных средах. Они способны воспринимать окружающую среду, переводят свое восприятие в соответствующие, возможно, ориентированные на конкретную задачу локальные и глобальные/краткосрочные и долгосрочные представления окружающей среды (семантические карты) и используют их для полного планирования достижения глобальных задач. Они реагируют на динамические изменения в окружающей среде таким образом, чтобы это соответствовало глобальной цели. При необходимости они способны чередовать исследовательское поведение с целенаправленным поведением. Они взаимодействуют с собой и могут разумно ее модифицировать, чтобы обеспечить и облегчить выполнение задач. Это включает в себя рассмотрение физических свойств взаимодействия между объектами и окружающей средой (скольжение, толкание, бросок и т. д.), а также об использовании инструментов и других объектов.

3.2.3. Познание

В сервисной робототехнике существует необходимость работать в неинженерных средах, приобретать новые навыки в результате демонстрации пользователям и взаимодействия с пользователями для постановки задач и отчетности о состоянии. Когнитивные системы позволяют приобретать новые модели окружающей среды и тренировать новые навыки, которые можно использовать для будущих действий. Когнитивные системы не только необходимы для свободного взаимодействия с пользователями и развертывания в областях, где возможности для обучения пользователей ограничены. Кроме того, для обеспечения надежности системы необходим дополнительный уровень интеллекта для работы в неинженерной среде.

Через 5, 10 и 15 лет при условии постоянных исследований и разработок можно достичь следующих целей:

5 лет: Демонстрация робота, который может обучаться навыкам у человека посредством жестового и речевого взаимодействия. Дополнительно приобретение моделей немоделируемой внутренней среды.

10 лет: Робот, который взаимодействует с пользователями для приобретения новых навыков для выполнения сложных задач или действий. Робот имеет возможности восстановления после возникших простых ошибок.

15 лет: Робот-компаньон, который может помогать в различных сервисных задачах путем адаптации навыков для помощи пользователю. Взаимодействие основано на распознавании намерений человека и перепланировании помощи оператору.

3.2.4. Устойчивое восприятие

Сервисные роботы работают в относительно неограниченной среде, и поэтому существует необходимость обеспечить надежную функциональность восприятия, чтобы справиться с изменениями окружающей среды. Восприятие имеет решающее значение для навигации и взаимодействия с окружающей средой, а также для взаимодействия с пользователями и объектами вблизи системы. Сегодня восприятие обычно используется для распознавания и взаимодействия с отдельными известными объектами. Чтобы обеспечить масштабируемость, необходимо иметь средства для категоризации восприятия и обобщения по сценам, событиям и действиям. Уже сегодня существуют методы картографирования и интерпретации сцен и действий, и основная проблема заключается в масштабируемости и надежности для работы в неограниченных средах.

Через 5, 10 и 15 лет при условии постоянных исследований и разработок можно достичь следующих целей:

5 лет: Демонстрация роботизированной системы, которая может классифицировать пространства и автоматически выявлять семантику с конкретными местами. Современными датчиками будут интегрированы для надежной работы в крупных масштабах, таких как торговые центры или строительные конструкции. Робот может распознавать сотни объектов.

10 лет: Демонстрация роботизированной системы, способной воспринимать события и действия в окружающей среде, что позволяет ей работать в течение длительных периодов времени.

15 лет: Демонстрация робота, который объединяет несколько сенсорных модальностей, таких как GPS, зрение и инерциальность, для получения моделей окружающей среды и использования этих моделей для навигации и взаимодействия с новыми объектами и событиями.

3.2.5. Физический, интуитивный HRI и интерфейсы

Развертывание сервисных роботов как в профессиональных, так и в домашних условиях требует использования интерфейсов, которые делают системы легкодоступными для пользователей. Распространение робототехники среди более широкого общества требует интерфейсов, которые можно использовать без подготовки или с минимальной подготовкой. Интерфейсы имеют два аспекта: физическое взаимодействие с пользователями и людьми поблизости и командный интерфейс для постановки задач и управления роботом. Физическое взаимодействие включает в себя движение тела для перемещения/подталкивания объектов и людей, а также бесконтактное взаимодействие, такое как изменение двигательного поведения для передачи намерения или состояния. Аспект интерфейса

необходим для постановки задач и отчетности о состоянии, чтобы операторы могли понимать действия робота.

Через 5, 10 и 15 лет при условии постоянных исследований и разработок можно достичь следующих целей:

5 лет: Демонстрация робота, в котором инструктор или по выполнению задач облегчается мультимодальным диалогом для простых действий/миссий, а также роботов, которые могут общаться о намерении действий с помощью языка тела.

10 лет: Демонстрация робота, где программирование путем демонстрации можно использовать для обучения сложным задачам, таким как приготовление еды в обычном доме.

15 лет: Демонстрация робота, который может быть запрограммирован оператором для выполнения сложной миссии в масштабе времени, аналогичном фактической продолжительности задачи.

3.2.6. Приобретение навыков

Сервисные роботы должны обладать способностью решать новые задачи с постоянно улучшающейся производительностью. Это требует, чтобы сервисные роботы могли самостоятельно приобретать новые навыки. Навыки можно приобрести разными способами: их можно получить из библиотек навыков, содержащих навыки, приобретенные другими роботами; навыкам можно научиться самостоятельно или путем отработки других навыков методом проб и ошибок; Навыкам также можно научиться, наблюдая за другими роботами или людьми; Более того, им может обучать робот-человек или робот-инструктор. Но приобретение навыков также требует, чтобы робот идентифицировал те ситуации, в которых навык может быть успешно использован. Навыки можно параметризовать; Обучение и выбор подходящих параметров для различных ситуаций также включены в возможности приобретения навыков.

Можно ожидать, что способность переносить навыки из одной области в другую или переносить опыт, приобретенный с одним навыком, в другой навык обеспечит значительный прогресс в приобретении навыков. Адекватные возможности в обучении навыкам будут обеспечены достижениями в области восприятия, представления машинного обучения, познания, планирования, контроля, распознавания активности и других смежных областей.

Через 5, 10 и 15 лет при условии постоянных исследований и разработок можно достичь следующих целей:

5 лет: Роботы могут освоить различные базовые навыки путем наблюдения проб и ошибок и демонстрации. Эти навыки можно успешно применять в условиях, незначительно отличающихся от тех, в которых этот навык был изучен. Роботы могут автоматически выполнять незначительные изменения приобретенных навыков, чтобы адаптировать их к восприятию отличий от их одной обстановки.

10 лет: по мере улучшения перцептивных способностей роботы смогут приобретать более сложные навыки и различать конкретные ситуации, в которых навыки уместны. Несколько навыков можно независимо объединять в более сложные навыки. Робот способен идентифицировать и рассуждать о типе ситуации, в которой навыки могут быть успешно применены. Робот уверенно понимает факторы, влияющие на успех, чтобы направлять процесс планирования таким образом, чтобы шансы на успех были максимальными.

15 лет: Робот постоянно приобретает новые навыки и повышает эффективность уже известных навыков. Он может приобретать независимые от навыков знания, которые позволяют применять отдельные навыки в различных задачах и различных ситуациях, а также переносить навыки в новые задачи. Робот способен идентифицировать закономерности обобщения для параметризации отдельных навыков и навыков.

3.2.7. Безопасные роботы

Сегодня безопасность роботов достигается за счет четкого разделения рабочих пространств для людей и роботов или за счет работы на скорости, не представляющей риска для человека в непосредственной близости от системы.

Поскольку деятельность людей и роботов становится все более взаимосвязанной, возникнет необходимость

Обязательно рассмотреть возможность работы на более высоких скоростях в непосредственной близости от людей. Чтобы обеспечить сертификацию, необходимо рассмотреть стандарты безопасности. Хотя с технологической точки зрения безопасность включает в себя несколько аспектов, включая необходимость расширения возможностей восприятия для обнаружения объектов и людей и прогнозирования возможных угроз безопасности, систем управления, которые реагируют на возможные опасные ситуации, и изначально безопасных механизмов взаимодействия, гарантирующих, что контакт с человеком или объектами вызывает незначительный ущерб или его отсутствие.

Через 5, 10 и 15 лет при условии постоянных исследований и разработок можно достичь следующих целей:

5 лет: во всем мире определен и принят стандарт безопасности для сервисной робототехники, виды которого допускают удары и передачу энергии. В базовых манипуляционных системах реализованы первые версии стандарта безопасности.

10 лет: робот, безопасный для работы в непосредственной близости от человека, демонстрирует сценарии промышленного применения.

15 лет: Демонстрируется роботизированная система, которая выполняет мобильные манипуляции в сотрудничестве с людьми, и демонстрируется безопасность как аппаратных, так и программных компонентов.

4. Фундаментальные исследования и технологии

4.1. Архитектура и представления

За последние 20 лет возник ряд стоящих перед моделями системной организации.

Однако характерно, что не было достигнуто никакого осоглашения или общей структуры организации системы. Для автономной навигации, мобильности и манипулирования существуют некоторые существующие методы, такие как 4D/RCS и гибридная делиберативная архитектура, но как только добавляются компоненты взаимодействия, такие как взаимодействие человека и робота (HRI), существует мало согласия по поводу общей модели. В течение последних нескольких лет в области когнитивных систем предпринимались попытки изучить эту проблему, но пока без единой модели. Для более широкого внедрения робототехнических систем будет необходимо создать архитектурные основы, которые облегчат интеграцию систем, моделирование компонентов и формальное проектирование. Соответствующие архитектурные структуры могут изначально или по своей сути зависеть от задачи, области приложения, робота или множества других факторов. Тем не менее, более глубокое понимание концепций, лежащих в основе познания, можно ожидать от постепенного объединения нескольких структур в более менее проблемные или специфичные для роботов архитектуры. Любая из вышеупомянутых архитектурных структур будет ложно связана с набором соответствующих представлений, которые отражают аспекты окружающей среды и содержащихся в ней объектов, возможности робота, информацию о предметной области, а также описание задачи робота.

4.2. Контроль и планирование

Поскольку сервисные роботы решают реальные проблемы в динамичных, неструктурированных и открытых средах, возникают новые проблемы в области алгоритмов управления роботами и планирования движения. Эти проблемы связаны с растущей потребностью в автономности и гибкости в движении роботов и выполнении задач. Адекватные алгоритмы управления и планирования движения должны будут учитывать стратегии движения высокого уровня, которые адаптируются к обратной связи датчиков. Задачи исследования включают рассмотрение модальностей восприятия и неопределенности.

в алгоритмах планирования и управления, развитие представлений и стратегий движения с позиций включения обратной связи; движение с ограничениями, возникающими из кинематики, динамики и неолономных систем; рассмотрение характеристик динамической среды; разработка алгоритмов управления и планирования гибридных систем; и понимание сложности этих алгоритмических проблем в управлении и планировании движения.

4.3. Восприятие

За последние несколько десятилетий был достигнут огромный прогресс в восприятии и сенсорной обработке, что видно, например, при поиске в Интернете, таком как изображения Google, и распознавании лиц в приложениях безопасности. Картирование и локализация в природных средах также возможны для инженерных сред. За последнее десятилетие, в частности, использование лазерных сканеров и GPS изменило повседневное проектирование навигационных систем и позволило создать новое поколение решений. Тем не менее, локализация и планирование в условиях отсутствия GPS, которые довольно распространены, остаются очень важной областью исследований. Кроме того, был достигнут огромный прогресс в распознавании изображений с масштабированием на большие базы данных. В будущем большое количество роботов будут полагаться на сенсорную обратную связь в своей работе, а область применения выйдет за рамки настоек предыдущих моделей. Поэтому для обеспечения надежности необходимо полагаться на несколько датчиков и объединение сенсорной информации. Ожидается, что важную роль будет играть, в частности, использование информации на основе изображений. Зрение будет играть решающую роль в новых методах картографии, в облегчении понимания новых объектов, в категоризации объектов и мест за пределами распознавания на основе экземпляров, а также в разработке гибких пользовательских интерфейсов.

4.4. Надежные, высококачественные датчики

Достижения в области микроэлектроники и упаковки привели за последнее десятилетие к революции в сенсорных системах. Датчики и изображения вышли за рамки вещательного качества и стали обеспечивать мегапиксельные изображения. Технология MEMS позволила создать новое поколение пакетов инерциальных датчиков, а RFID позволила более эффективно отлеживать пакеты и людей. Датчики обеспечили значительный прогресс в областях с высоким качеством сигнала. По мере расширения областей применения возникнет потребность в новых типах датчиков, обеспечивающих надежную работу. Для этого необходимы как новые методы надежного управления, так и, что более важно, датчики, которые предоставляют надежные данные при наличии значительных динамических изменений и области плохим разрешением данных. Новые методы производства кремния и MEMS открывают возможности для нового поколения датчиков, которые станут ключевым аспектом будущего прогресса в робототехнике.

4.5. Новые механизмы и высокопроизводительные приводы

Существует сложная взаимосвязь между прогрессом в области механических устройств и приводов и алгоритмической сложностью, необходимой для их использования в соответствии с их функцией. Некоторые алгоритмические проблемы можно решить или их решение значительно облегчается с помощью интеллектуального механического проектирования. Таким образом, достижения в области проектирования механизмов и высокопроизводительных приводов могут существенно способствовать новаторским инновациям в других областях фундаментальных исследований, а также реализовать некоторые возможности, перечисленные в дорожной карте. Важные области исследований включают проектирование и разработку механизмов с податливостью и переменной податливостью, очень ловких рук, по своей природе податливых рук, энергоэффективных, безопасных, высокопроизводительных приводов, энергоэффективных динамических ходунков и многих других. Особый интерес представляют «разумные» механические конструкции, которые благодаря своей конструкции могут взять на себя функцию, которую в противном случае пришлось бы выполнять посредством явного контроля. Примеры включают самостабилизирующиеся механизмы или руки с сенсорными приспос

4.6. Обучение и адаптация

Многие из фундаментальных областей исследований, описанных в этом разделе, могут выиграть от достижений и применения обучения и адаптации. Сервисные роботы занимают сложную среду и живут в многомерных пространствах состояний. Знания об окружающей среде и состоянии робота по своей сути неопределенны. Действия робота чаще всего носят стохастический характер и их результат лучше всего можно описать распределением.

Многие явления определяющие результат действия трудно или даже невозможно моделировать. Методы машинного обучения предоставляют с собой многообещающий инструмент для решения вышеупомянутых трудностей. Эти методы могут быть полезны для изучения моделей роботов, задач или среды; изучение глубоких иерархий или уровней представлений от сенсорных и моторных представлений до абстрактных задач; изучение планов и политики управления путем имитации и обучения с подкреплением; интеграция обучения с архитектурами управления; методы вероятностного вывода на основе мультимодальной сенсорной информации (например, проприоцептивной, тактильной, зрительной); структурированные пространственно-временные представления, предназначенные для обучения роботов, такие как низкочастотное внедрение движений.

4.7. Физическое взаимодействие человека и робота

Постепенно барьеры безопасности, которые были обычными для промышленной робототехники, устраняются и роботы будут в большей степени взаимодействовать с людьми для совместного выполнения задач и программирования путем демонстрации.

В рамках этого роботы будут иметь прямой физический контакт с пользователем. Это требует прежде всего тщательного рассмотрения аспектов безопасности. Кроме того, необходимо рассмотреть, как можно проектировать этих роботов так, чтобы они обеспечивали модели взаимодействия, которые воспринимались пользователями как естественные. Это охватывает все аспекты взаимодействия от физического движения робота до прямого физического взаимодействия с ощущением минимальной инерции и контроля жидкости. Кроме того, здесь необходимо учитывать взаимодействие между проектированием и контролем для оптимизации функциональности.

4.8. Социально-интерактивные роботы

Поскольку роботы взаимодействуют с людьми, необходимо набить с головы с редствами для совместного взаимодействия с людьми. Это взаимодействие необходимо для постановки задач с целью, для обучения новым навыкам и задачам, а также для совместного выполнения задач. Современные модели социального взаимодействия включают жесты, речь/звук, движения/позы тела и физическую позу. Здесь необходимо интегрировать модели навыков и задач с интерпретацией человеческих намерений, чтобы обеспечить интерпретацию новых и существующих видов деятельности. В сервисной робототехнике существует широкая потребность в социальном взаимодействии — от встреч с начинающими пользователями до совместной работы с опытным оператором. Для обеспечения привлекательного и долгосрочного внедрения робототехники необходим полный спектр возможностей.

5. Учас тники

В этом отчете документированы результаты мозгового штурма, который состоялся 7-8 августа 2008 года в Сан-Франциско, Калифорния. Отчет является частью исследования CCC по робототехнике. Консорциум компьютерного сообщества (CCC) — это проект, управляемый Ассоциацией компьютерных исследований (CRA) и спонсируемый Национальным научным фондом (NSF). Настоящий отчет был составлен организаторами семинара и не выбирает вариант CRA, CCC или NSF. Ответственность за отчет полностью лежит на авторах.

Семинар CCC по сервисной робототехнике был организован Оливером Броксом из Массачусетского университета, Биллом Томасом из The Technology Collaborative, Inc и Хенриком Кристианом из Технологического института Джорджии. В семинаре приняли участие следующие представители научных кругов и промышленности:

Чад Дженкинс
Коричневый

Николас Рой

Аарон Доллар

Стефано Карпин
Калифорнийский университет в Мэрк-дэ

Яна Косецка
Джордж Мейсон

Эндрю Нг
Стэнфорд

Андреа Томас
Технологический институт Джорджии

Цзин Сяо
UNC Шарлотта

Чарльз Рич
WPI

Кэндис Сиднер
WPI

Стьюарт Тэнсли
Microsoft Исследования

Джошуа Смит
Интел

Эрик Бергер
Ивовый г-рарж

Мартин Бюлер iRobot

Паоло Пирджанья
Эволюционная робототехника

Билл Таунсенд
Барретт Техноджи

Скотт Тэйер
Красная зона

Крис Урмон
КМУ/ГМ

Синтия Бризил

Майкл О'Коннор
Новариант

Пол Джеймс
Адепт

Эрик Уиннем
Бинг - производитель технологий

Чарли Кемп
Технологический институт Джорджии

Тревор Блэквелл
Эниботы

Дэн Миллер
Эниботы

Брайан Карлайл
Точная автоматизация

Параг Багавия
Фостер-Миллер

Андреас Хоффман
Векна

Джеймс Каффер
КМУ

Алекс Фоссел
Дир

Оливер Брок
Массачусетский университет в Амхерсте

Билл Томас
Техническое сотрудничество

Хенрик Кристиансен
Технологический институт Джорджии

Джейк Хакки
Технологический институт Джорджии

Глава 4

Робототехника: новые технологии и тенденции

1. Введение

Робототехника объединяет множество различных компонентных дисциплин и технологий, таких как вычислительные технологии, датчики, материалы, приводы, управление и искусственный интеллект. Достижения в этих технологиях компонентов часто стимулировали развитие робототехники, а в свою очередь робототехника часто предоставляла приложения, стимулирующие развитие технологических компонентов.

Семинар по новым технологиям и тенденциям рассмотрел текущие и вероятные будущие достижения в области технологий, изучил их влияние на робототехнику и наметил перспективы для будущих направлений исследований в области робототехники и политики финансирования. Семинар выявил 63 различных технологических достижения, которые обещают оказать влияние на робототехнику, и 35 различных новых приложений, которые станут возможными благодаря различным достижениям. Были даны прогнозы достижимого развития в течение 5, 10 и 15 лет. В этом отчете представлены итоги семинара, сгруппированные по следующим категориям:

- Системы сборки
- «Энергетика и энергосистемы».
- Технологическая обработка материалов.
- «микро- и нанотехнологии».
- Интерфейсы «человек-робот».
- «коммуникации» и создание сетей.
- планирование и контроль.
- «прочность» и «надежность».
- «Машинное обучение».

восприятие

Прогресс в таких технологиях важен для возможностей и приложений, предусмотренных для робототехники, и, следовательно, служит основой для практических семинаров по производству и автоматизации, здравоохранению и медицинской робототехнике, а также сервисной робототехнике.

2. Стратегические выводы

2.1. Системы срабатывания

Достижения в области исполнительных систем имеют решающее значение для прогресса во многих приложениях. Для многих приложений взаимодействия мобильных роботов и человека с роботом нужны быстрые, безопасные, недорогие и надежные роботы. Это, в свою очередь, требует новых приводов и трансмиссий, которые имеют высокое соотношение крутящего момента к весу и мощности к весу, безопасны при взаимодействии с людьми, устойчивы к ударам, имеют соответствующий импеданс для интерактивных задач, а также имеют разумную скорость и эффективность. Современные приводы могут обеспечить хорошие характеристики по некоторым из этих показателей, но не хорошие общие характеристики. Этот недостаток привел к появлению тяжелых, медленных и хрупких роботов, с которыми опасно работать людям. Точно так же, как технология реактивных двигателей является важнейшим стратегическим преимуществом для высокопроизводительных самолетов, технология приводов обеспечивает конкурентное преимущество в робототехнике.

Улучшения в технологии приводов в ближайшие годы не будут значительными, но устойчивый прогресс с специализацией робототехники расширяет возможности роботов. Ожидается, что следующие сегменты мирового рынка роботов будут быстро расти, если будут разработаны необходимые технологии приводов.

Физическая помощь людям с помощью роботов, например, перенос человека наверх, требует небольшого веса срабатывания с соответствующим импедансом.

- Для обеспечения безопасности мобильных микросенсорных узлов требуются миниатюрные высокопроизводительные исполнительные механизмы, такие как для микролап.
- Для силиконовых костюмов и протезов требуются приводы высокой мощности, высокого крутящего момента и высокой эффективности.
- Бытовым роботам требуются безопасные, недорогие, малоинерционные приводы для обеспечения мобильности и манипулирования.

2.2. Энергетика и энергетические системы

Два ключевых вопроса — накопление и подача энергии — жизненно важны для многих областей робототехники, особенно для мобильных и автономных роботов. Они определяют полезную нагрузку, продолжительность миссии и интервал обслуживания. Они также жизненно важны для транспорта и бытовой электроники, которые представляют собой гораздо более крупные рынки, чем робототехника, и имеют интенсивные исследовательские программы. Фактически, наибольший прогресс будет достигнут именно в этих областях.

Хранение энергии связано с ограничениями, возникающими из фундаментальной химии, а также с многочисленными экономическими проблемами и проблемами, связанными с безопасностью. В тех приложениях, где это практически осуществимо, жидкие углеводороды будут иметь преимущество в плотности энергии, по крайней мере, в течение следующих двадцати лет. В других приложениях доминируют аккумуляторы, которые, вероятно, улучшатся в два-три раза за тот же период времени, но плотность энергии все равно будет в десять раз ниже, чем у бензина.

Другие технологические ограничения энергии имеют серьезные проблемы с практическим использованием во многих приложениях.

Водород требует значительных объемов хранения. Монооксид (например, перекись водорода) имеет потенциал, но вызывает серьезные проблемы с безопасностью и обращением. Перекись водорода автодегидрируется при высоких концентрациях (около 80%), но для получения достаточного количества энергии необходимы высокие концентрации.

В обеспечении мощности преобладает больше дизайн, чем химия. Это относительно неважно для батарей при длительных миссиях. Усовершенствованные батареи находятся в разработке. Есть несколько компаний, которые в краткосрочной перспективе занимают коммерциализацией новых материалов для электродов литиевых батарей, которые могут обеспечить увеличение удельной мощности и/или срока службы. Однако улучшенные батареи этой категории вряд ли превысят плотность энергии нынешних литий-полимерных батарей с кобальтом.

оксидные электроды. Есть группа компаний, работающих над батареями, которые могут дать 2-3-кратное улучшение плотности энергии, в основном в области металло-воздушных батарей, таких как перезаряжаемые цинк-воздушные батареи.

Подача энергии жизненно важна в топливных системах. Двигатели уже сильно оптимизированы с очевидным компромиссом в эффективности. Топливные элементы должны значительно улучшить удельную мощность, но неясно, превзойдут ли они двигатели.

Учитывая столько кромные перспективы развития энергетической и энергетической, основным вариантом является изучение соответствующих технологий, именно широкое применение в робототехнике.

- Сбрасывая Требования к ранению энергии могут быть смягчены, если энергию можно будет получить в полевых условиях.
- Эффективность. Требования к ранению энергии могут быть смягчены, если для ее ранения будет потребоваться меньше энергии. выполнить задание.
- Миниатюризация. Большинство роботизированных систем работают в гораздо меньших масштабах, чем транспортные средства. Некоторые из них намного меньше бытовой электроники (микро-воздушные транспортные средства, интеллектуальная пыль и т. д.). Новые силовые и энергетические системы необходимо масштабировать до размеров, подходящих для роботов. Робототехника также может использовать достижения людей. Миниатюрные двигатели и аккумуляторы являются общепризнанной проблемой в самолетах с дистанционным управлением.

2.3. Технологическое изготовление и материалы

Достижения в области производства и технологических материалов также имеют решающее значение для производства роботов следующего поколения, поскольку позволяют создавать новые легкие, безопасные, недорогие, совместимые и долговечные конструкции. Интегрированные технологии производства приведут к созданию компактных, легких подсистем, прочных и обладающих высокой производительностью. Технологические миниатюризации на мезо/микро/наноуровне приведут к распространению недорогих компонентов, которые легко интегрируются. Технологические умные материалы приведут к созданию совместимых носимых датчиков, которые могут либо формировать кожу робота, либо размещаться на людях для измерения.

Новые технологические материалы позволяют создать легкие, мягкие и безопасные конструкции роботов. Приложения, которые будут включены:

- Носимые роботы, например, для протезирования с помощью помощи слабым людям и реабилитации.
- Службы/домашние роботы для помощи пожилым людям и другой помощи.
- Миниатюрные роботы для обеспечения безопасности, например, поисково-спасательные группы.

2.4. Микро- и нанотехнологии

Микро- и наноробототехника предоставляет беспрецедентные возможности для наблюдения взаимодействия с микромиром, от молекул до клеток и органов. Создавая роботизированные системы с характерными размерами в диапазоне от нанометров до миллиметров, эти роботы смогут взаимодействовать с окружающей средой с помощью и с использованием физических свойств, которые невозможны с помощью обычных макромасштабных систем.

Есть два аспекта микро- и нанотехнологий: (1) микро- и наноманипуляторы с стороны больших роботов и (2) роботы, которые сами по себе очень малы. Микро- и наноманипуляторы с помощью больших роботов улучшают наше понимание материалов и биологических структур, а также помогают в микропроизводстве.

Создание очень маленьких роботов позволит создать автономные устройства мезомасштаба для исследования, передвижения и плавания. Искусственные бактерии и клеточные системы также являются примерами микроботов. Небольшие по размеру микро- или нанороботы могут действовать с теми, обеспечивая расширенные возможности.

- «Общую человеческую среду» можно лучше наблюдать, используя «рои» в таких приложениях, как экологический мониторинг, поиск и спасение.

Стаи микророботов могут использоваться in vivo медицинские методы лечения такие как микроманипуляции или доставка наркотиков.

«Искусственные бактерии могут быть созданы с возможностями сенсорного восприятия, манипулирования и передвижения».

- «Клеточные» системы могут действовать как «миниатюрные» фабрики и как «встроенные» датчики для «обнаружения болезней».

2.5. Интерфейсы человек-робот

Взаимодействие человека и робота занимает центральное место во многих наиболее интересных приложениях робототехники, включая медицинскую робототехнику, вспомогательную робототехнику, протезирование, реабилитацию, транспортировку, увеличение человеческой производительности, развлечения и образование. Интерфейсы человек-робот включают в себя голосовое взаимодействие; визуальное взаимодействие, включая жесты и определение намерений на основе визуального мониторинга; нейронные интерфейсы, включая физические датчики, ЭЭГ (мозговые волны) и поверхностную ЭМГ; физическое взаимодействие, включая экзоскелеты и тактильные устройства; физические манипуляторы с телом человека для транспортировки или реабилитации; интеллектуальное протезирование; и инвазивные устройства, такие как некоторые биомониторы, хирургические инструменты и нейронные интерфейсы.

Анализ этого списка показывает, что интерфейсы человек-робот занимают центральное место в приложениях, которые повлияют на нас наиболее глубоко.

Достижения в области взаимодействия человека с роботом происходили быстро и уже оказали влияние. Nintendo Wii показывает, что относительно небольшой прогресс в распознавании жестов может оказать существенное влияние на человеческий опыт. Роботизированные системы уже используют распознавание поведения для автоматизации лабораторных исследований с помощью тестов на животных. Аналогичным образом, телеоперированные хирургии оказались с успехом и коммерчески успешной. За последние несколько лет нейронные интерфейсы добились поразительного прогресса, превратившись даже в первую коммерческую систему. Другие приложения на горизонте включают в себя

- «заводские» роботы и «военные» логистические роботы, которые «обучаются» задачам сборки и складского хранения, наблюдения и помощи людям без программирования;
- домашние сервисные роботы, которые «обучаются» конкретным неповторяющимся задачам, «наблюдая» за людьми, «делая выводы», как помогать и модифицировать свою помощь посредством речи и жестов человека;
- «команда поиска и спасательных» роботов, работающих с людьми и с помощью развертываться автономно до овариваться передаче разрозненной информации с нескольких сайтов пользователям-людям так, чтобы количество операторов-людей было меньше количества роботов;
- экзоскелет «человек-усилитель» для военного и гражданского использования, который «скользит» по частям тела, тело или все тело интуитивно увеличивать или заменять человеческую скорость/ловкость, реагируя на нервные импульсы или другие формы человеческой «мысли».

Сопутствующие технологии включают речевое взаимодействие, распознавание жестов и поведения, биосовместимые материалы, нейробиологию и биоинженерию.

2.6. Коммуникации и сети

Коммуникации и сети являются фундаментальными технологиями, позволяющими реализовать множество высокоприоритетных приложений. Коммуникации и сети необходимы всякий раз, когда роботизированные системы распределены в пространстве, когда требуется доступ к удаленным данным или вычислительным ресурсам или когда человек

требуется взаимодействие. Достижения в области коммуникаций и сетей приведут к созданию более функциональных, более надежных и легко развертываемых систем. Приложения, появившиеся благодаря достижениям в области коммуникаций и сетей, включают:

- Распределенные мобильные сенсорные сети для экологического мониторинга, мониторинга гражданского общества, инфраструктуры, мониторинга контейнерных площадок и т.д.;
- автономные пассивные беспроводные сети, которым необходимо общаться друг с другом, с дорожным движением, с системами управления, а также внешние данные и вычислительные ресурсы, такие как навигационная помощь;
- домашние «роботизированные» системы, такие как «домашняя безопасность», «домашнее здравоохранение» и «вспомогательные системы». робототехника и домашняя автоматизация;
- «распределенные» микро- или «наносистемы», используемые для «биологических» приборов, таких как «внутриклеточные». научные исследования;

2.7. Планирование и контроль

Планирование и контроль — это наука о принятии решений, используемая для определения действий, которые предпримет робот. Они включают в себя некоторые из наиболее серьезных проблем робототехники. Даже при наличии совершенных сенсоров и аппаратного обеспечения то, что роботизированное планирование и контроль далеко не соответствуют человеческим возможностям в большинстве задач. При нынешнем уровне алгоритмов планирования и управления роботам часто приходится использовать строго заданные сценарии, следуя очень подробному программированию, кропотливо написанному людьми.

В других случаях автономия невозможна, и человека приходится интегрировать в телеробототехническую систему. Приложения, появившиеся благодаря достижениям в области планирования и контроля, будут включать:

- «заводские роботы», адаптирующиеся к «новой» задаче без «нового» программирования;
- В настоящее время управляемые задачи, такие как хирургические операции и обезвреживание бомб, будут переведены на контролируемая автономность;
- «Автоматизация логистики» позволит роботам «автономно» перемещать товары от «производителей» через распределительную сеть потребителям;
- «автономное» управление «высокоскоростными» беспроводными сетями в «динамических» условиях позволит «пассажирам» автопилоты беспроводных сетей;
- «Автономные роботы, способные работать в новых средах без перепрограммирования», будут делать бытовую робототехнику доступной.

2.8. Прочность и надежность

Прочность и надежность гарантируют, что робот продолжит выполнять свою работу, даже если условия эксплуатации или отклоняются от идеала. Сбои являются дорогостоящими и неудобными, а в некоторых приложениях — неприемлемыми. Повышенная надежность и надежность позволяют использовать множество приложений:

- Когда отказ недопустим: роботизированная хирургия, легковой автомобиль, автопилоты, критическая безопасность и приложения безопасности.
- «Когда «неудача» обходится дорого и неудобно: «все остальное».

2.9. Восприятие и машинное обучение

Восприятие и машинное обучение — это методы использования сенсорной информации либо для распознавания состояния мира вокруг робота (восприятие), либо для улучшения его способности выполнять работу (машинное обучение). Во многом именно восприятие и машинное обучение отличают робота от обычной машины. Благодаря восприятию машинного обучения робот может адаптироваться к своим действиям текущей ситуации и может совершенствоваться с опытом, что является признаком разумного поведения. Достижения в области восприятия и машинного обучения открывают новые возможности:

- Заводские роботы могут выполнять новую работу без перепрограммирования и, возможно, путем наблюдения за происходящим человеком или другой робот, выполняющий работу;
- Установка «роботов» во все приложения может быть произведена без дорогостоящих «специальных» целей. программирование, наблюдение за людьми или создание человеком.
- Очень сложные «динамические» задачи, такие как ходьба, также получают пользу от методов «машинного обучения».

3. Ключевые проблемы/возможности

3.1. Мотивирующие/образцовые сценарии

3.1.1. Безопасность - национальная, промышленная, домашняя

Безопасность — это широкий набор приложений. Национальную безопасность мы включаем военные операции, такие как боевые действия, разведка, наблюдение и логистическая поддержка, а также внутреннюю безопасность, такую как охрана границ, охрана аэропортов и других критически важных инфраструктурных объектов. Технологические робототехники уже оказали значительное влияние на национальную безопасность благодаря использованию беспилотных летательных аппаратов в военных операциях и роботов для обезвреживания бомб с дистанционным управлением. Автономные и полуавтономные наземные машины только начинают внедряться. Также внедряются технологические видеонаблюдения.

Промышленная и домашняя безопасность, скорее всего, будет сосредоточена на наблюдении. Широкое распространение в домашних условиях будет зависеть от легко устанавливаемых и доступных решений.

Некоторые новые технологии напрямую связаны с приложениями безопасности. Повышенная мобильность и улучшение восприятия интеллекта и связи приведут к появлению более распространенных военных роботов, особенно в разведке и наблюдении. Сенсорные сети, как мобильные, так и стационарные, с улучшенным восприятием и связью, позволят более эффективно контролировать зоны безопасности, включая границы, аэропорты, морские терминалы, зоны промышленной безопасности и объекты гражданской инфраструктуры. Все приложения безопасности выигрывают от достижений в области сенсорных сетей, программирования обеспечения для восприятия и сетей связи, особенно домашней безопасности.

3.1.2. Производство и распространение

Робототехника и автоматизация прочно укоренились в производстве, особенно в сборке автомобилей и бытовой электроники. Технологические робототехники также внедряются в распределительную цепочку: от полностью автоматизированных отгрузочных станций и складов до систем мониторинга запасов и систем точек продаж.

розничной торговли. Появление более эффективных и более зрелых технологий может оказать широкое влияние как на производство, так и на дистрибуцию. Улучшенные технологии питания, приводов и материалов приведут к созданию более эффективных и безопасных систем. Улучшения в коммуникациях, восприятии и взаимодействии человека-робота приведут к созданию более простых в развертывании, более доступных и более адаптируемых систем.

Объединение всех этих технологий с новыми методами программирования, протоколами и стандартами изменит лежащую в их основе экономику, так что эту технологию можно будет применять более широко. На начальном этапе этого сценария мы увидим рост внедрения с стороны крупных производственных компаний, но позже мы увидим внедрение с стороны более мелких предприятий, в конечном итоге включая очень маленькие магазины.

3.1.3. транспорт

Основное направление перевозок – пассажирский транспорт на улицах и автомагистралях. Преимущества автоматизации пассажирского транспортного средства огромны с точки зрения затрат, времени, комфорта и, прежде всего, безопасности. Среди первых пользователей могут быть закрытые частные системы, такие как горнодобывающие или лесозаготовительные компании. Некоторые технологии уже достаточно развиты и применяются, например, на автоматизированных судостроительных верфях. Технология городского вождения в закрытой среде была продемонстрирована на недавнем конкурсе DARPA Urban Challenge, в котором активно используются лазерная локация, радар и GPS. Остается решить множество задач по созданию надежной и надежной системы, которая могла бы безопасно управляться с несколькими неопределенностями обычного вождения. Тем не менее, технология постепенно перейдет в наши автомобили. Предупреждение о столкновении, коррекция заноса, помощь в навигации и адаптивный круиз-контроль — все это примеры технологий, которые уже внедряются.

Транспорт не только широк, что каждая технология связанная с робототехникой, актуальна. Наиболее очевидными являются восприятие, мобильность и навигация, но не менее важными достижениями в области взаимодействия человека с роботом, сетями и коммуникаций, приведения в действие, мощности, управления и машинного обучения.

3.1.4. Медицина и здравоохранение

Применение в медицине и здравоохранении включает хирургию, реабилитационную терапию, протезирование и ортопедию, медицинскую визуализацию, мониторинг и терапевтическую помощь. Технологии робототехники во многом повлияют на медицину и здравоохранение, предоставляя новые инструменты и методы для профессионалов, а также позволяя людям более эффективно контролировать и управлять своим здоровьем. Технологии робототехники уже много лет используются как в медицинской визуализации, так и в компьютерной хирургии, и эта технология продолжает быстро развиваться. Разрабатываются демонстрируемые новые инструменты и методы, которые позволят проводить процедуры, которые ранее были невозможны, дорогостоящи и опасны.

Нейронное протезирование демонстрируется в тематических исследованиях, а протезирование конечностей быстро развивается. Также демонстрируются методы роботизированного мониторинга терапии в домашних условиях. В конечном итоге технологии здравоохранения могут быть встроены в наши дома и контролировать наше здоровье, питание и поведенческие аномалии. Хотя почти каждая роботизированная технология имеет отношение к здравоохранению, особенно актуальные области включают микро- и нанотехнологии, энергетику, приведение в действие и физические интерфейсы человека и робота.

3.1.5. Бытовая робототехника

Бытовая робототехника означает использование робототехнических технологий дома, хотя некоторые из наиболее важных приложений, таких как безопасность и здравоохранение, рассматриваются в других приложениях. Наиболее важными оставшимися приложениями будут образование, развлечения, уборка и сев. Уже есть заметные успехи в сфере развлечений и уборки: в эксплуатации наших одитяных нескольких миллионов роботов-пылесосов.

Доступность, простота установки и простота использования являются ключевыми факторами воздействия на внутренний рынок. Ключевыми технологиями являются приводы, мощность, человеческое взаимодействие, коммуникации и сети, восприятие, безопасность, надежность и надежность.

3.1.6. Наука и технология

В некоторых случаях технологии робототехники позволяют использовать новые или усовершенствованные методы в других областях науки и техники. Примеров много: микро- и нанотехнологии могут обеспечить превосходное решение биологических систем, вплоть до клеточного уровня. Процедурная автоматизация лабораторий позволяет проводить крупномасштабные эксперименты. Алгоритмы распознавания поведения поддерживают ранее невозможные или дорогостоящие исследования на животных. Улучшение восприятия потенциально может оказать широкое влияние практически на все аспекты научных исследований. Уже продемонстрировано несколько случаев, связанных с исследованиями на лабораторных мышах с целью открытия лекарств, изучением поведения насекомых и даже астрономическими исследованиями.

Еще одна интересная тенденция возникает из фундаментальной связи между биологией и робототехникой. Оба направления решают проблемы, с которыми сталкивается агент, который выживает и достигает некоторых поведенческих целей в реальном мире. В робототехнике применение биологических наблюдений при проектировании роботов называется биомиметикой. Есть также некоторые низкие идеи и методы от робототехники до биологии.

3.2. Дорожная карта возможностей

3.2.1. Системы с рабывания

Влияние разработок систем привода показано на примере двух систем робототехники. Орнитоптеры — это роботы с перекрывающимися крыльями, например, птицеподобные (50 см) или насекомообразные (5 см). Предполагаемые возможности включают полный контроль над креном/тангажем/рысканием/тягой/подъемной силой и продолжительность миссии 30 минут.

5 лет: орнитоптер 50 см - грузоподъемность равна массе приводной системы. Орнитоптер 5 см — грузоподъемность равна 1/10 массы приводной системы.

10 лет: орнитоптер 50 см — грузоподъемность равна 10-кратной массе приводной системы. Орнитоптер 5 см - грузоподъемность равна массе приводной системы

15 лет: орнитоптер 50 см, грузоподъемность равна массе дополнительной системы, продолжительность миссии 30 суток. Орнитоптер диаметром 5 см - грузоподъемность равна 10-кратной массе приводной системы.

Предполагается, что экзоскелеты с электроприводом для помощи в движении будут рассматриваться на 8-часовую продолжительность миссии (рабочая смена). Ключевой разработкой являются приводы с пассивным и/или переменным импедансом.

5 лет: Грузоподъемность равна массе экзоскелета.

10 лет: Грузоподъемность в 10 раз превышает массу экзоскелета.

15 лет: Грузоподъемность равна 10-кратной массе экзоскелета, груз переносится на руках.

3.2.2. Энергетика и энергетические системы

Сбор урожая. В сборе урожая есть две проблемы: механизмы обнаружения и получения энергии; и алгоритмы управления питанием и поведения поиска энергии. Сбор урожая должен быть хорошо согласован с потреблением: бесмысленно собирать милливатт энергии вибрации в работе, который потребляет несколько ватт.

Эффективность. Эффективность — это основная проблема механизмов: улучшенные приводы и клапаны, рекуперация энергии (эластичная и/или регенеративная) и алгоритмы управления энергопотреблением. Усовершенствования здесь также применимы к промышленной автоматизации, более широкому рынку.

Миниатюризация. Миниатюризация часто является проблемой, но иногда доминируют законы масштабирования.

3.2.3. Нано и микротехнологии

5 лет

«Непривязанные» субмиллиметровые устройства, способные осуществлять целенаправленную доставку и распознавание *in vivo*, продемонстрированы в модели животных.

«Роботизированная наноманипуляция неферрических объектами размером менее 100 нм с точным контролем глубины резкости 5 дьюмов». жидкости, включая иловые наноманипулирования молекулами с высокой молекулярной массой.

- Высокопроизводительные клеточные анализы с соответствующими промышленными приложениями.

«Проводные» инструментальные «клеточные» системы, то есть сетевые наносенсоры, собирающие и обрабатывающие в данные в реальном времени в различных модальностях и различных временных и пространственных масштабах для биологических исследований («понимание биологии»)

- Непривязанные устройства размером менее сантиметра, способные летать, передвигаться или плавать на открытом воздухе.

10 лет

Все более сложные методы зондирования и манипулирования *in vivo* с помощью микроботов размером менее миллиметра.

- Отслеживание и точный контроль объектов неферрической формы размером менее 100 нм *in vivo*.

- Внутриклеточные нанороботы для биологических исследований.

«Искусственные бактерии: ощущение и передвижение».

- «Молекулярные» анализы, основанные на «роботизированных» наноманипуляторах, включая «исследование» иловых сывей «структура-функция» в белках с использованием манипуляций.

«Инструментальные клеточные системы», но «беспроводные» и «встроенные» в ткани (возможно, в эксплантаты), «для» Применения также при обнаружении заболеваний.

- Роботы, подобные искусственным бактериям, питающиеся от внешних полей.

Субсантиметровые непривязанные устройства, способные передвигаться по пересеченной местности и работающие в скоординированных группах для таких задач, как поиск и спасение при стихийных бедствиях.

15 лет

«Invivo» — «самособирающиеся микроботы».

- Стандартизированная платформа «микробот» для проведения различных видов медицинской терапии *in vivo*.

- «Искусственные» бактерии: «ощущение», «манипуляция» и «передвижение».

- Экспериментальная платформа для разработки лекарств, основанная на наноманипуляции молекул.

«Инструментальные системы ячеек», но имеющие «возможности дополнительного механизма» (например, «перемещаться», «освобождать»). лекарства или механически взаимодействовать с клетками) и *in vivo*.

- Искусственные автономные бактерии.

Множество «автономных» субсантиметровых устройств, способных осуществлять «большую» площадь для экологического мониторинга и...

Такие меры контроля как опыление сельскохозяйственных культур, мониторинг здоровья и защита от вредителей.

3.2.4. Интерфейсы человек-робот

5 лет

- «Надежный контроль» экзоскелетов с использованием «поверхностной» электромиографии, встроенной в «звенья».
- Надежное жестовое/голосовое управление сервисными роботами, основанное на ограниченной тактильности с принципом «немного или нет».
- «Обучение», итерации.
- Совместный хирургический процесс с использованием сенсорной обратной связи в реальном времени и визуализации.
- Коммерчески доступное, недорогое (в стиле видеоигры), тактильное устройство типа PHANTOM.
- Адаптируемые стандарты и методы для интуитивно понятных интерфейсов телеприсутствия для индивидуального управления

10 лет

- «Неврологический контроль» экзоскелетов с использованием «нейропротезирования» и «современной» поверхностной ЭМГ.

Вывод о ложном намерении на основе естественного жестового/голосового взаимодействия с людьми.

Дистанционное управление хирургическими процессами через ограниченные сети с использованием сенсорной обратной связи в реальном времени и визуализация с прогнозирующей коррекцией и темпом процесса.

- Адаптируемые стандарты и методы для интуитивно понятных интерфейсов телеприсутствия для 1:N (человек:робот).
управление удаленными роботами.
- Адаптируемые «стандарты» и «практики» для «безопасного» взаимодействия «людей» с «роботами» на основе «заданной» сенсорной обратной связи.

15 лет

- «Неврологический контроль» экзоскелетов с использованием «мозговых волн» (ЭЭГ).
- Инвазивный неврологический контроль, который широко приемлем для потенциальных пользователей.

Бесшовные интерфейсы для совместной работы с использованием жестов, голоса и общения через задачу.

- Адаптируемые «стандарты» и «практики» для «интуитивных, саморегулирующихся» интерфейсов для «многих людей».
управление множественными удаленными роботами.

3.2.5. Коммуникации

5 лет

- «Протоколы» для «редких», «высокоскоростных» многопрыжковых, «ad-hoc» сетей с «высокой» и «низкой» пропускной способностью.
задержка
- Улучшения локализации сетей UWB и лучшее использование спектра.
глобальные, локальные и персональные сети для более плавного локального глобального покрытия (гетерогенности).
- Совместные коммуникационные кластеры в специализированных сетях для улучшения связи и мощности.
утилизация и т.д.
- Интеграция сетей сотовой и спутниковой связи для расширения других сетей.

10 лет

- Когнитивное «радиорасширение» теории и разработка «развертываемых» систем.

Улучшения в методах и протоколах мета-уровня (промежуточное программное обеспечение) для гетерогенных агентов.

задача, распределение ресурсов, совместное использование и т. д.

- «Общие методы» и «теории», включающие «нетрадиционные» коммуникации (биологические «формы»).
в отличие от РФ).
- Общественное предоставление выполнения задачи.
- «Локальные» стратегии сотрудничества, которые «лучше справляются» с «плохими» сетевым соединением в «неустойчивых» условиях.
среди (все среди).

15 лет

Расширенное использование коммерческих стандартов мультимедиа (слайд-видеообъектов, кодирование контента и т. д.).

- Внедрение «когнитивных» радиостандартов с стратегиями «многоагентного сотрудничества».

Надежные подходы «промежуточного программного обеспечения» для «универсального» распределения задач, «распределения» ресурсов и «данных».

совместное использование нескольких сетевых модальностей с частыми отключениями.

4. Исследования/технологии

4.1. Системы срабатывания

Ниже приведены прогнозы развития событий на ближайшие 5, 10 и 15 лет.

5 лет: более высокий крутящий момент и мощность по отношению к весу, чем у мышц ($> 20 \text{ Нм/кг}$ и $> 50 \text{ Вт/кг}$) с соответствующим сопротивлением в масштабе от 1 г до 1 кг.

10 лет: 5-кратное улучшение крутящего момента и мощности по отношению к весу при соответствующем импедансе, в масштабе от миллиграмм до килограмм, достаточная полоса пропускания КПД с иловой установкой $> 40\%$, минимальная удерживающая сила, прототип системы управления.

15 лет: высокопроизводительные приводы для легкого веса и безопасного мобильного манипулирования иерархические для компромисса между точностью/мощностью и отказоустойчивостью, альтернативные источники питания (питание, а не батареи?)

4.2. Энергетика и энергетические системы

Ниже приведены прогнозы развития энергетики и энергетических систем на ближайшие 5, 10 и 15 лет.

5 лет

- Сбор урожая. Разработать мобильного робота массой 10 кг, с возможностью полностью автономно заряжаться в офисе с реда.
- Эффективность. Создайте надежную систему передвижения на нано, которая потребляет в 2 раза больше энергии по сравнению с аналогичной биологической системой.

- Миниатюризация. Изготовить батарею емкостью 100 мГ, способную накапливать и передавать энергию более 500 кДж/кг и 1 кВт/кг.

10 лет

- Сбор урожая. Разработать мобильного робота массой 10 кг, способного полностью автономно заряжаться и управлять питанием на открытом воздухе (рабочий цикл > 25%). Разработать БПЛА массой 1 г, способный работать с рабочим циклом 5% при сборе урожая в помещении/офисе.
- Эффективность. Улучшить систему передвижения ног, чтобы ее мощность соответствовала биологической модели.
- Миниатюризация. Изготовить топливный источник энергии с массой преобразователя < 50 мГ, мощностью > 100 Вт/кг и КПД > 10%.

15 лет

- Сбор урожая. Разработать БПЛА массой 1 г, способный работать с рабочим циклом 25% во время сбора урожая на открытом воздухе.
- Эффективность. Улучшить систему передвижения ног до 50% мощности биологической модели.
- Миниатюризация. Создать топливный источник энергии с массой преобразователя < 50 мГ, мощностью > 1 кВт/кг и КПД > 10%.

4.3. Технологическое изготовление и материалов

Дорожные карты разбиты на четыре области, в которых рассматриваются несколько ключевых вопросов: стоимость; вход; гетерогенная интеграция; сложность (2д или 3д); согласие; соотношение прочности к весу; порог оторвать; биоразлагаемый/пригодный для вторичной переработки/зеленый; и модульность.

4.3.1. Дорожная карта интегрированного производства

Используемые технологии включают недорогие потребительские роботы, высокую производительность (высокую мощность и малый вес), высокую надежность и защиту интеллектуальной собственности США.

5 лет: интегрированные датчики, механика, сканирование, проводка, упаковка (инкапсуляция ключевых компонентов)

10 лет: единый программируемый процесс изготовления (например, печать, осаждение и т. д.) разнородных компонентов без ручной сборки.

15 лет: Y10+ высокая пропускная способность

4.3.2. Дорожная карта миниатюризации

Используемые технологии включают безопасность, здравоохранение и мобильные сенсорные сети для поиска и спасения.

5 лет: миниатюрные интегрированные датчики, механика, сканирование, проводка, связь, упаковка (инкапсуляция ключевых компонентов); Комбинированные мезо/микро/нанокомпоненты и системы.

10 лет: высокое проникновение

15 лет: Y10+ низкая стоимость + использование интеллектуальных материалов на основе микро- и нанотехнологий.

4.3.3. Дорожная карта умных материалов

Используемые технологии включают силиконовые костюмы и протезы.

5 лет: совместимая носимая сенсорная оболочка

10 лет: совместимый носимый датчик и кожа привода, адаптированная к индивидуальному скелету пользователя
состав

15 лет: совместимый носимый датчик и исполнительный механизм с встроенным питанием/энергией; модульные, масштабируемые приводы из интеллектуальных материалов, изготовленные совместно с структурой кожи

4.3.4. Дорожная карта материалов

Используемые технологии включают более производительных, безопасных и маневренных роботов.

5 лет: легкие, мягкие и безопасные робототехнические конструкции (например, гуманоид массой 20 кг для легких домашних задач); новые материалы с контролируемой адгезионными/фрикционными свойствами для гибкой и высокоэффективной мобильности и манипуляций с хрупкими деталями.

10 лет: встроенные датчики и исполнительные механизмы из мягких материалов для конечностей и тел роботов; контролируемая мягкость; Высокоманевренное притирающее крыло на основе лежащих роботов с антиметрового масштаба.

15 лет: как недорогое масштабируемое производство, так и изготовление мягких роботов, от мезо до наноразмеров, с возможностью индивидуальной настройки, из перерабатываемых материалов.

4.4. Планирование и контроль

5 лет

«Новое поколение фильтрующих алгоритмов, которые используют ограничения задачи, чтобы минимизировать сенсорное восприятие».
расчет и оценка

- Надежные, общедоступные библиотеки для расчета оптимальных планов обратной связи в нескольких вариантах (от 3 до 6) размерах.
- Подходы к быстрому перепланированию, основанные на предварительных вычислениях и недорогой памяти, обеспечивающие альтернативно с оптимизированными планами обратной связи.
- Разработка математических критериев для прогнозирования качества движения примитивов или поведения в алгоритмах планирования.

10 лет

- «Алгоритмы планирования, ориентированные на датчики, и управления», которые «работают» непосредственно в «сжатой» информации.
пространства, возникающие в результате минималистских фильтров.

Разработка методов, основанных на выборке, которые позволяют рассуждать о существующих планах обратной связи или контролировать их.
законы в многомерных пространствах.

Введены понятия «перепланирования в реальном времени» и «управления с обратной связью», в том числе «математического».
анализ с точки зрения динамики.

- Автоматический синтез примитивов движения на основе оптимизационных вновь введенных критериев.

15 лет

- Оптимальное планирование движения с обратной связью для «нелинейных» систем с «препятствиями» за десять или более часов. размеры.

Единная «теория» и «методы» для сокращения «топологических», комбинаторных и размерных» сложности информационных процессов.

Алгоритмы, которые устраняют искусственные границы между зондированием, планированием, контролем и обучением.

Значительное улучшение производительности в приложениях, использующих планирование и контроль, благодаря автоматическим интегрированным примитивам.

5. Участники

Этот отчет стал результатом семинара по новым технологиям и тенденциям, который состоялся 14–15 августа 2008 г. в Сноберде, штат Юта. Отчет является частью исследования Консорциума компьютерного общества (CCC) по робототехнике. CCC управляется Ассоциацией компьютерных исследований (CRA) и спонсируется Национальным научным фондом (NSF). Настоящий отчет был составлен организаторами семинара и не выбирает вариант CRA, CCC или NSF. Ответственность за отчет полностью лежит на авторах.

Семинар CCC по новым технологиям и тенденциям был организован Джоном М. Холлербахом (Университет Юты), Мэтью Т. Мейсоном (Университет Карнеги-Меллона) и Хенриком И. Кристиансеном (Технологический институт Джорджии). В семинаре приняли участие следующие представители научных кругов и промышленности:

Х. Гарри Ас ада	Джон М. Холлербах	Метин Ситти
Массачусетский Институт	Университет Юты	Университет Карнеги-Меллон
Технологий	Стивен М. ЛаВалль	Гаурав С. Сукхатме
Майкл С. Бранички	Университет Иллинойса	Университет Южной Калифорнии
Университет Кейс-Вестерн Резерв	Мэтью Т. Мейсон	Расс Тедрейк
Крейг Р. Кариньян	Университет Карнеги-Меллон	Массачусетский институт
Джорджтаунский университет	Брэдли Дж. Нельсон	Технологии
Хенрик И. Кристиансен	ETH Цюрих	Ричард М. Войлс
Технологический институт Джорджии	Джилл Пратт	Денверский университет
Рональд С. Фиринг	Олин Колледж	Минджун Чжан
Калифорнийский университет в Беркли	Аристидес АГ Рекича	Университет Теннесси
Уильям Р. Хэмел	Университет Южной Калифорнии	
Университет Теннесси	Брайан П. Радди	
	Массачусетский Институт	
	Технологий	

