

Пример исследования бакалавриата в области мехатроники:

Вклад в создание ловкой руки робота

Майкл А. Салиба*, Дэвид Дж. Кассар и Мария Аксиак

Кафедра промышленной и технологической инженерии

Мальтийский университет

Мсида MSD2080

Мальта

*Автор, ответственный за переписку. Адрес электронной почты: michael.saliba@um.edu.mt

Абстрактный

Важность внедрения сильного проектного подхода к бакалавриату

образование в области мехатроники и дальнейшее совершенствование, полученное за счет внедрения

исследовательского аспекта этих проектов подчеркивалось в литературе. В этой работе

Мы документируем наш опыт погружения на последнем году обучения в бакалавриате по механике.

студентов инженерных специальностей в исследовательскую программу кафедры промышленного и

Технологическое производство Мальтийского университета, под руководством бакалавриата.

Проекты, которые из года в год дополняют друг друга и в конечном итоге приводят к достоверным исследованиям.

Публикации международного уровня. Мы фокусируемся на конкретной области рук робота, и

позже один конкретный расширенный проект в качестве тематического исследования. Сначала мы кратко опишем выбор

исследовательских проектов бакалавриата в этой области, выполненных за последние двенадцать лет.

годы. Затем в документе основное внимание уделяется одному конкретному проекту среди описанных, включающему разработку антропоморфной руки робота с восемью степенями свободы, основанной на наблюдениях как за характеристиками, так и за ограничениями человеческой руки. Робот

Рука предназначена для использования в качестве ведомого устройства с дистанционным управлением, и конкретной целью является

Уменьшите размер и вес за счет удаленного расположения всех приводов и датчиков.

В статье дается подробное обоснование дизайна руки, за которым следуют описания

Кинематическая, механическая, исполнительная, сенсорная и управляющая системы конструкции.

опытный образец. Далее следует описание процедур и результатов калибровки датчика.

Статья завершается кратким обсуждением значения этой работы, обращаясь к

как образовательные, так и исследовательские аспекты, а также будущие направления, которые необходимо предпринять.

Ключевые слова: мехатронное образование, руки роботов, телеоперация.

Введение

Важность реализации сильного аспекта проектного обучения в бакалавриате.

Образование в области мехатроники было подчеркнуто несколькими авторами (например, [1, 2, 3, 4, 5]).

Обычно проектная часть программы получения степени по мехатронике или мехатронике

исследовательский блок, включает в себя проектирование и изготовление системы, включающей в себя механические

движущиеся части, управляемые с помощью электронных схем и обычно связанные с сенсорным управлением.

обратная связь и/или взаимодействие с компьютерным контроллером (т.е. мехатронной системой).

Некоторые учебные заведения пошли дальше и пошли дальше.

включил существенный исследовательский элемент в проекты студентов бакалавриата, либо

в лабораторных условиях (например, [6]) или в промышленных условиях (например, [7]). Действительно, тенденция к

Ознакомление студентов с исследовательской средой было подчеркнуто и в других областях.

машиностроения (например, [8, 9]) и, как известно, значительно улучшает качество обучения.

процесс.

Программа бакалавриата по инженерным специальностям в Мальтийском университете, в то время как

Претерпев множество изменений на протяжении многих лет, он всегда включал в себя существенные проекты.

который осуществляется студентом в течение последнего года обучения. каждый проект уникален,

различные изучаемые предметные области и названия проектов зависели от студента.

интересы, опыт академического персонала и доступные ресурсы. За последние пятнадцать лет один

значительный процент проектов последнего (четвертого) года обучения включал в себя серьезные исследования.

элемент, часто ведущий непосредственно к исследовательским публикациям на международном уровне. В этом

В работе мы документируем некоторые результаты, достигнутые с использованием этого подхода в области робототехники и

Лаборатория промышленной автоматизации (РИАЛ, бывшая Лаборатория промышленной автоматизации,

IAL) кафедры промышленного и производственного инжиниринга (DIME)

Мальтийский университет (UM). Мы фокусируемся на одной конкретной области исследований в области

Мехатроника, а затем сосредоточить внимание на одном расширенном проекте в качестве конкретного тематического исследования.

Наши результаты показывают, что этот подход служит не только для улучшения образовательного опыта.

студентов, но и дать им преимущество в внесении значимого исследовательского вклада.

в своей недавно выбранной сфере интересов.

За последние двенадцать лет одно из основных текущих исследовательских мероприятий в рамках РИАЛ

занимался исследованиями, связанными с руками роботов. В исследовании приняли участие в основном

выявление и исследование новых концепций, которые могут быть применены к этому классу устройств. В то же время в мире был разработан ряд прототипов ручных устройств. лабораторию, главным образом для проверки этих концепций. Эти исследовательские проекты включали в себя вклад от академических сотрудников, преданных своему делу исследователей, аспирантов и часто также студенты последнего курса бакалавриата инженерных специальностей. Участие студентов студентов означало, что эта работа, хотя и обеспечивает достоверные результаты исследований сама по себе, также был краеугольным камнем бакалавриата по мехатронике в рамках отделения. Мы отобрали небольшое количество проектов в этом направлении для пожилых людей. Студенты бакалавриата внесли основной вклад, и мы сначала опишем эти проекты. кратко и продемонстрировать полученные результаты. Далее в статье более подробно рассматривается один из этих проектов, предполагающих разработку ловкой роботизированной руки с дистанционным управлением. расположенные исполнительные механизмы и датчики.

Данная статья преследует двойную цель: представить результаты работы, проделанной по разработке рука робота; и подчеркнуть вклад этой исследовательской деятельности и других подобных проекты по мехатронике в рамках DIME.

Краткое введение в ловкие руки робота

Во всем мире исследовательская работа направлена на разработку по-настоящему ловкой руки робота. и, в частности, имитация человеческой руки, продолжается уже более четверть века. Многие считают, что основополагающие работы в этом отношении были те, которые проводились в Стэнфордском университете («Рука Стэнфорда/Лаборатории реактивного движения» [10]) и в Университет Юты достиг кульминации в разработке «ловкой руки Юты/MIT»

(UMDH) [11], в начале-середине 1980-х годов. Даже в ранней версии проекта, описанной в [11], UMDH уже имел относительно высокую степень геометрического и функционального сходства с человеческой рукой (т.е. антропоморфизм), включала в себя три пальца и противопоставлялась большой палец с 16 суставами, а также датчиками прикосновения, силы и положения суставов. В частности, приводы UMDH были расположены удаленно, чтобы уменьшить вес и освободить место. пространство в самой руке.

В последующие годы исследования в области создания ловких рук роботов были продолжены. плодотворность и большое количество моделей с различными функциями и свойствами, а также Используя различные технологии, они были разработаны во многих учреждениях. во всем мире (например, [12, 13, 14]). Главной целью в большинстве этих случаев остается воспроизведение особенностей и функций руки человека, основная причина этого возможность лучшей совместимости со множеством объектов, которые будут Первоначально он был разработан для манипуляций человеком и выполнял множество задач. изначально это предназначалось для реализации человеком.

Демонстрация исследовательского проекта бакалавриата: На пути к ловкой руке робота

В РИАЛ исследовательская работа в этой области ведется уже более десяти лет, зачастую В той или иной степени вовлекаются студенты старших курсов инженерных специальностей. во многих случаях, Конкретные проекты, порученные студентам бакалавриата, основываются на результатах предыдущих проектов, и таким образом у студентов появляется четкое ощущение вклада в рост Программа исследований и разработок в лаборатории. Всякий раз, когда есть результаты, достигающие адекватным стандартам, учащимся предлагается либо возглавить, либо активно способствовать

исследовательская публикация на основе проекта. Таким образом, эти проекты сочетают в себе важную часть бакалавриата по мехатронике на кафедре, как на теоретический и практический уровни, с действительным вкладом в продуктивные исследования активность. В этом разделе мы рассмотрим некоторые достижения, реализованные в рамках этого проекта. программа.

В 2000 году появился трехпальцевый девятисуставной захват, оснащенный чувствительным к силе резистором (FSR). датчики силы на кончиках пальцев и диффузный фотоэлектрический датчик приближения ладони, был разработан для использования в автоматизированных сборочных операциях [15]. Важная цель Целью этой работы было продемонстрировать возможность достижения значительной степени универсальности. даже при использовании одного привода для всей руки, благодаря использованию продуманной конструкции механические, передаточные и сенсорные системы. В период с 2001 по 2005 год этот захват был интегрирована в гибкую, основанную на машинном зрении и роботизированную систему передачи материалов, которая может распознавать, находить и подбирать различные предметы, случайно расположенные на движущемся плоском ремне конвейера [16]. На рис. 1 показан универсальный захват и его применение в гибких системах. система автоматизации.

[Возьмите рисунок 1]

В 2001 году была разработана новая, более антропоморфная система роботизированной руки и запястья. построен. На руке было два пальца и противоположный большой палец, причем каждый палец состоял из двух пальцев. Пассивно соединенные шарниры и привод от отдельного двигателя. Запястье состояло из отдельно Сработали шарниры тангажа и крена, так что в общей сложности система имела пять степеней свободы.

работа была сосредоточена на максимально точном воспроизведении формы, размера, естественных движений и приложенные силы человеческой руки, сохраняя при этом сложность руки робота и запястье до минимума. Требования к расчетному усилию были получены посредством обширной серии экспериментов по измерению хватательной силы человека, а суставы каждой руки робота были Соединены для последовательного перемещения с помощью нового пассивного механизма переключения. Оригинал Модель приводилась в движение пятью удаленно расположенными шаговыми двигателями и телеуправлялась в открытом режиме. режим петли через консоль ввода с помощью ручки и использование аналоговых и цифровых входов выходы карты сбора данных, установленной на ПК. В 2002 и 2003 годах целая рука Устройство ввода положения (перчатка) [17] было разработано для телеуправления рукой робота. Перчатка Включен ряд новых функций, ранее не встречавшихся в литературе, в том числе измерение положения предплечья человека при крене и новая возможность регулировки чтобы соответствовать широкому диапазону размеров человеческой руки. В 2005 году ручное управление было преобразовано в сервопривод. контроль, а результаты этого полного ручного проекта были опубликованы в [18]. Робот Рука и устройство ввода в перчатках показаны на рисунке 2.

[Взять рисунок 2]

В 2004 и 2005 годах появился новый антропоморфный палец робота, приводимый в действие с помощью встроенного были разработаны миниатюрные двигатели постоянного тока [19]. Этот палец был очень похож на человеческий аналог, и включает в себя сустав отведения/приведения (рыскания) и три сгибания/ Разгибательные (шаговые) суставы. Рычажный шарнир и первые два шаговых шарнира приводились в действие с помощью независимые двигатели, а крайний шаговой шарнир был механически связан с средний сустав таким образом, чтобы воспроизвести соотношение движений человеческого эквивалента.

Палец робота показан на рисунке 3. Этот проект также включал полный кинематический анализ (включая анализ положения, скорости и силы и планирование траектории движения) и моделирование нового пальца робота. В статье также предложено идеальное соотношение длины фаланг (звеньев) к максимизируйте объем рабочего пространства для антропоморфного пальца с помощью этой структуры сустава.

[Взгляните на рисунок 3]

В 2006 году была проведена серия экспериментов по измерению ловкости рук человека, выборочно

Ограничение определенных черт руки проводилось для того, чтобы вывести

вклад выбранных особенностей в общую ловкость рук [20]. Дальнейшие эксперименты

были проведены в 2008 году [21]. Эти эксперименты были призваны дать рекомендации по

расстановке приоритетов и выбор функций при проектировании рук антропоморфных роботов.

Новейшая антропоморфная рука робота RIAL, которая является основной темой данной статьи,

была разработана в период с 2006 по 2009 год. Основное внимание в этой модели уделялось перемещению всех

исполнительные механизмы и датчики вдали от основного устройства, чтобы в конечном итоге свести к минимуму

вес руки и максимизировать производительность и ловкость, связанные с пространством.

Эскизный проект и первый вариант прототипа представлены в [22].

В оставшейся части этой работы подробно описана философия дизайна рук и

приводятся подробности последней версии конструкции и прототипа, а также отчет о

Калибровка датчиков положения и силы, а также подход к управлению, который будет использоваться для

рука.рука.

Обоснование конструкции руки

Основной целью при разработке этой руки RIAL было максимальное сходство с

особенности человеческой руки при минимизации сложности и стоимости устройства. Этот

Цель была достигнута путем проведения объективного обзора человеческой руки, чтобы

понимать не только свойства этого естественного органа, но и часто игнорируемые

Ограничения и ограничения в его структуре и работе. Эти ограничения явно имеют

мало вредного воздействия на ловкость человеческой руки, но они могут иметь глубокие

Последствия упрощения конструкции руки робота.

Одним из первых моментов, на который следует обратить внимание, является то, что большинство мышц, влияющих на палец человека,

движения фактически локализуются в предплечье, а не в самой руке. Человеческая рука

Поэтому в основном используются удаленно расположенные исполнительные механизмы. Таким образом, где бы ни была рука робота

построенный с использованием встроенных приводов, его создатели на самом деле пытались чего-то добиться

что даже естественная рука не смогла или не решила сделать. По сути, позволив

уступка в расположении сильных (и крупных) приводов (мышц) в предплечье,

Человеку удалось развить маленькую и ловкую, но сильную руку.

Второе замечание: хотя в общих чертах человеческую руку можно смоделировать так, чтобы она имела 21

внутренних степеней свободы (например, [23]), эти движения на самом деле подвержены значительному количеству

количество ограничений. Особый интерес представляют ограничения положения суставов пальцев при

сгибание и движение вбок (отведение/приведение), а также совместное движение двух

крайние суставы каждого пальца [24]. Принимая во внимание некоторые из этих движений

ограничений и перевода их в дизайнерские послабления, отмечается, что ловкость

Рука робота не может быть значительно уменьшена, если (i) суставы пальцев разрешены лишь ограниченно.

движение как в человеческой руке; (ii) крайние суставы не предназначены для перемещения

самостоятельно и (iii) боковые движения пальцев ограничены. Кроме того, это может быть

можно вообще опустить мизинец с небольшим ухудшением ловкости, как указано в

[20].

Третий момент, который следует отметить, заключается в том, что в человеческом теле обеспечивается значительная чувствительность к силе.

специализированными датчиками (сухожильные органы Гольджи), расположенными на границе между

мышцы и сухожилия [25]. Таким образом, когда человек хватается предмет рукой,

Часть ощущения и оценки приложенной силы исходит из ощущения

напряжение сухожилий предплечья. Таким образом, человеческая рука оснащена дистанционно

Расположены датчики силы на основе натяжения, и эту концепцию можно также применить в искусственном

руку, что способствует более легкой и простой конструкции руки. Более того, Справедливый

Заметная разница (JND) при измерении силы захвата человеческой рукой составляет около 7%.

[26], т. е. разрешение силы захвата значительно низкое.

Четвертый момент связан с распознаванием положения сустава в руке человека при отсутствии

визуальная обратная связь. Авторы отмечают, что с закрытыми глазами трудно передвигать

суставы пальцев с небольшими угловыми приращениями или для точного возврата в ранее установленное положение.

позиции. Более того, через несколько секунд без движения ощущение пальца

позиция теряется и может стать затруднительным даже определить, согнут ли палец

или нет. Неточности в ощущении положения пальцев при отсутствии зрения хорошо изучены.

Документировано в литературе (например, [27, 28]). Таким образом, человеческая рука кажется очень надежной.

в значительной степени зависит от зрительного восприятия для обратной связи о положении суставов. JND на должности

Было обнаружено, что два самых внутренних сустава человеческого пальца расположены под углом около $2,5^\circ$ [26].

Помимо того, что человеческая рука полагается на зрительную обратную связь, она полагается на

почти исключительно на человеческий мозг для контроля. В контексте этих двух специальностей

зависимости, поэтому человеческую руку можно рассматривать как функционирующую во многом как

Телеуправляемое, а не автономное устройство! Таким образом, робот передает литературу,

Акцент на автономном управлении за счет установки датчиков высокого разрешения и

продвинутые контроллеры, установленные на самой руке, на самом деле могут ставить цели, превосходящие

Технические характеристики конструкции задаются анатомической человеческой рукой.

Вышеуказанные факты были использованы в качестве руководящих принципов при разработке RIAL.

ловкая рука. Рука предназначена для использования исключительно в качестве ведомого устройства с дистанционным управлением.

Под руководством человека, который будет носить главное устройство ввода/вывода в перчатках и который будет

действовать как контроллер с помощью зрения и обратной связи по силе. Датчики положения на

Перчаточное устройство будет обеспечивать опорные сигналы для грубого управления положением робота.

рукой, при этом точный контроль положения достигается посредством визуальной обратной связи. Этот

стратегия значительно снижает требования к встроенной системе определения положения робота

рука.рука. Предполагается, что силовая обратная связь на перчаточном устройстве будет осуществляться посредством

привод и тросовая система, обеспечивающая сопротивление движению пальцев человека

Путем применения соответствующего натяжения троса, как описано в [29] и [30], и

как это обычно бывает и в других тактильных перчатках (например, [31, 32]). Таким образом, в РИАЛ

рука робота, достаточно ощущать только натяжение троса для обратной связи по усилию во время захвата,

с целью использования этих показаний для контроля аналогичных натяжений кабелей в системе срабатывания с обратной связью мастер-перчатки. Предусматривается, что при ношении в тактильной перчатке оператор-человек быстро научится интерпретировать сопротивление пальца движение как захватывающая сила.

Кинематическое и механическое строение руки.

Роботизированная рука RIAL имеет экзоскелетную конструкцию с внутренним тросом и шкивом.

системы и имеет три пальца и противопоставленный большой палец. Суставы расположены в местах

похожи на те, что находятся в человеческой руке. На каждом пальце имеется по три сгибательных сустава.

с двумя внутренними приводами, приводящимися в действие независимо, и с внешним шарниром, пассивно связанным с

средний шарнир с использованием усовершенствованной версии муфты, представленной в [19] с

коэффициент связи $1\frac{2}{3}$ (см. рисунок 4). Большой палец имеет два сгибательных сустава, соединенных таким же образом.

способом, описанным выше, и приводится в движение одним приводом, а также вращающимся шарниром для перемещения его по направлению к

и противодействию пальцам, приводимым в действие отдельным приводом (рис. 5).

[Взять рисунок 4]

[Возьмите рисунок 5]

Настоящий прототип руки робота, предназначенный для предварительных экспериментов и

концептуальное тестирование, имеет конструкцию из нержавеющей стали и весит 1,48 кг. Он предназначен для

скорость суставов около 90° /с и сила захвата кончиков пальцев 15 Н. Это немного больше, чем

средний размер руки человека мужского пола, общей длиной (ладонь плюс середина

палец) 210 мм. Чертеж САПР и фотография руки показаны на рисунке 6.

[Возьмите рисунок 6]

Дистанционная и интегрированная система срабатывания и измерения.

Приводная система руки состоит из восьми удаленно расположенных двигателей постоянного тока, одного

для каждой ГРИП. Каждый двигатель соединен с редуктором и ходовым винтом и

соединен с одним шарниром пальца через систему передачи троса с оболочкой двойного действия.

Эта система кабельной передачи аналогична сухожильной системе человека.

рука.рука.

Рука дополнительно оснащена датчиками положения и силы, которые также контролируются дистанционно.

расположены и интегрированы в систему кабельной передачи. Есть одна позиция

и по одному датчику силы для каждой из восьми степеней свободы. Оба типа датчиков основаны на линейности.

потенциометры, как показано на рисунке 7. Схема встроенного привода и

Сенсорная система включена в рисунок. Совместное движение достигается за счет положения

управление двигателями постоянного тока.

[Возьмите рисунок 7]

Компьютерный интерфейс

В системе используются два устройства сбора данных NI USB-6009 с восемью аналоговыми входными каналами каждый.

Необходимое программное обеспечение и графический интерфейс были разработаны с использованием LabVIEW Ver. 7.1

[33]. На рис. 8 показана передняя панель программного обеспечения определения положения. Угловой

Положения соединений рассчитываются на основе входных напряжений с использованием различных уравнений, которые

были получены путем индивидуальной и отдельной калибровки каждого датчика положения.

Результаты расчета выводятся на счетчики, и эти значения представляют собой расчетную

угловое положение каждого сустава. В системе измерения силы используется аналогичная конструкция программного обеспечения.

где натяжение кабеля рассчитывается на основе выходного напряжения схемы датчика силы.

[Возьмите рисунок 8]

Демонстрационная программа также позволяет пользователю перемещать все суставы пальцев в нужное положение.

указанные должности по мере необходимости. Пользователь вводит желаемые положения суставов, и три

Светодиоды каждого соединения на передней панели сообщают пользователю, закрываются ли соединения или

открытия или что суставы находятся в пределах двух градусов от желаемого положения.

Калибровка датчиков положения и силы

Для преобразования показаний напряжения со схемы датчика положения в соответствующие

углов, было важно найти связь для каждого стыка между показаниями напряжения

и фактическое угловое положение сустава. Эти зависимости были получены по кривой

соответствие обширным экспериментальным калибровочным данным, полученным с использованием специально разработанного угла шарнира

измерительные приборы (см. рисунок 9). Уравнения для всех суставов затем использовались в

разработка компьютерной системы измерения положения, описанной в
предыдущий раздел.

[Возьмите рисунок 9]

Типичный график калибровки положения шарнира, основанный на трех наборах показаний по пятнадцати значениям.
Каждый из них показан на рисунке 10. На следующем этапе было произведено измерение точности каждого соединения.
выполненный. Здесь для каждого сустава было снято пятнадцать показаний случайных положений, а
истинный (физически измеренный) угол сравнивался с тем, который отображался программой, т.к.
рассчитывается по уравнениям, полученным путем калибровки. Краткое изложение результатов
Эти эксперименты можно увидеть в таблице 1.

[Возьмите рисунок 10]

[Внести в таблицу 1]

Как видно, достигнутые результаты вполне удовлетворительны. Глобальная средняя ошибка составляет всего
Были получены $1,85^\circ$ и средняя максимальная ошибка $3,9^\circ$. Также можно увидеть, что
сгибательный сустав большого пальца имеет среднюю ошибку всего $0,6^\circ$ и максимальную ошибку 2° . Эти
Ошибки можно уменьшить, используя более качественные датчики линейного положения. В контексте
обоснования конструкции руки, описанной выше, эти результаты показывают, что
Фактически, определение положения может быть выполнено с помощью используемого метода.

Система измерения силы или измерения натяжения кабеля была откалибрована для каждого из

Восемь степеней свободы руки робота. Это было сделано путем загрузки каждого датчика в

с шагом 0,91 кг на калибровочном стенде до максимальной массы около 20 кг. Пять

такие циклы для каждого датчика выполнялись, часть из которых включала выгрузку

веса, а не нагрузку, чтобы проверить гистерезис. Положительный результат этого

Стадию можно увидеть на рисунке 11, где все точки графика лежат в непосредственной близости от

кривая наилучшего соответствия. Выходы цепей потенциометра датчика силы преобразуются

для принудительного считывания показаний с помощью LabVIEW аналогично тому, как это используется при определении положения

система.

[Возьмите рисунок 11]

Интегративный образовательный аспект этого проекта

Подход, использованный в этом проекте, заключался в успешном привлечении двух студентов

студенты последних курсов. Первый студент (магистр) работал над разработкой базовых

мехатронной системы и на первом прототипе. Впоследствии второй студент (DJC)

работал над модернизацией и доработкой системы, а также над приобретением,

Интерпретация и реализация результатов калибровки. Оба студента работали под

пристальное и подробное руководство своего руководителя (MAS) в качестве советника и для

подробная формулировка обоснования и целей. Такое сложное устройство, как

антропоморфная рука робота представляет собой серьезную проблему для любого исследователя, но более

Итак, когда в процесс вовлечены студенты бакалавриата, мы обнаружили, что такая задача

предоставляет уникальную возможность этим студентам применить свои различные педагогические способности.

приобретал навыки комплексно, одновременно помещая значительные
требует от них творческого подхода и находчивости. Действительно, в сводном докладе, представленном
здесь едва ли можно отдать должное усилиям, затраченным этими студентами на обширное
мозговой штурм; литературный обзор; научное обсуждение; генерация концепции дизайна,
оценка и отбор; воплощение и детальная проектная разработка интегрированного
мехатронная система; а также построение, тестирование, оценку и калибровку окончательной версии.
система. Эти задачи представляют собой отличную подготовку для студентов, будь то
промышленная или академическая карьера, особенно если основное внимание уделяется исследованиям
и развитие.

Заключение

Как обсуждалось выше в разделе, посвященном обоснованию конструкции руки, основная направленность
Целью этой работы было продемонстрировать, что, сосредоточив внимание как на ограничениях, так и на
свойств человеческой руки, можно создать искусственную руку, которая бы
потенциально быть в состоянии в значительной степени соответствовать характеристикам естественного органа,
Поскольку искусственные и натуральные руки применялись одинаковым образом и сравнивались на
ровное игровое поле. В этой работе утверждалось, что человеческая рука рассматривается как дистальная.
на запястье, имеет характеристики телеуправляемого устройства, поскольку оно очень сильно полагается
на человеческий мозг и на визуальную обратную связь для управления. Это и другие наблюдения, сделанные
в разделе «Обоснование» настоящего документа смягчить требования в сторону менее строгих требований к
системы определения положения и силы руки робота, если они предназначены для использования
только в телеуправляемом режиме, и тем более, если ведущее устройство должно быть всей рукой
тип ввода/вывода.

Необходимое требование к конструкции искусственной руки, которая будет использоваться в соответствии с настоящими Условиями.

условиях остается копирование механической структуры и кинематики

человеческая рука в максимально возможной степени, чтобы лучше обеспечить выполнение

множество сложных задач, которые люди могут выполнять вручную. В этом не может быть

короткий путь. Однако при воспроизведении механики человеческой руки физическое

следует учитывать и воспроизводить ограничения естественного органа с целью

чтобы избежать чрезмерного дизайна руки робота.

Текущей модели руки RIAL все еще не хватает ряда ключевых элементов, связанных с ее

Потенциал для повторения действий человека в удаленной среде посредством телеоперации.

Одним из них является сенсорная обратная связь, сенсорный элемент, который имеет решающее значение для успеха.

выполнение телеуправляемыми руками. Второй недостающий элемент — это похищение/приведение.

функция, которая, несмотря на наблюдение, сделанное в разделе «Обоснование» выше, все же может быть

быть критичным для определенных задач. В-третьих, число независимых степеней свободы

Большой палец руки робота меньше, чем у человека. Четвертый пропал без вести

Элемент представляет собой мягкую и эластичную внешнюю поверхность кончиков пальцев человеческой руки.

может внести огромный вклад в общее соблюдение, соответствие и манипулирование

возможности органа. Кроме того, использование более совершенных материалов может способствовать

значительно снизить общий вес руки, одновременно улучшив его

система передачи кабеля с оболочкой может быть нацелена на снижение сопротивления трения в

система срабатывания.

Многие из этих конкретных проблем, касающихся RIAL, необходимо будет решить.

в основном аспирантами/постдокторантами в лаборатории. Однако на

В то же время это направление исследований будет продолжать предлагать множество возможностей для

студентам бакалавриата принять участие в захватывающих, сложных и высокопознавательных

нишевые проекты, обогащающие опыт обучения, продолжая при этом предоставлять действительную

вклад в научно-исследовательскую деятельность кафедры.

Подтверждение

Эта работа частично финансировалась Мальтийским университетом в рамках исследовательского гранта.

номера 73-528 и 31-353.

Рекомендации

[1] К. Ф. Берг, А. Кита и И. К. Уме, «Разработка курса мехатроники в

Школа машиностроения Технологического института Джорджии», Материалы

Международная конференция по передовой интеллектуальной мехатронике (AIM'99), Атланта,

Грузия, сентябрь 1999 г., с. 459-465.

[2] У. Р. Мюррей и Дж. Л. Гарбини, «Проекты разработки мехатроники в

Вашингтонский университет», Материалы Международной конференции по

Усовершенствованная интеллектуальная мехатроника (AIM'99), Атланта, Джорджия, сентябрь 1999 г., стр.

598-604.

[3] Ю. Алтинтас, Э. А. Крофт, «Электромеханическое проектирование: прогресс».

отчет и будущие направления образования в области мехатроники», Международный журнал

Машиностроительное образование, 30/4 (2002), 325-339.

- [4] Р.М. Паркин, «Проектная парадигма обучения мехатронике»,
Материалы Международной конференции IEEE по промышленным технологиям,
Марибор, Словения, декабрь 2003 г., с. 808–812.
- [5] А. Прайс, Р. Римингтон, М. Т. Чу и С. Демиденко, «Проектное обучение в
робототехника и электроника в программе бакалавриата по инженерным специальностям»,
Труды Международного симпозиума IEEE по электронному проектированию, тестированию и
Applications, Хошимин, Вьетнам, январь 2010 г., стр. 188–193.
- [6] М. Акар и Р. М. Паркин, «Инженерное образование в области мехатроники», IEEE.
Труды промышленной электроники 43/1 (1996), 106–112.
- [7] DJ Cox и A. Schönning, «Инженерное образование с помощью робототехники и мехатроники».
и проекты автоматизации», Всемирный конгресс автоматизации (WAC), Будапешт, Венгрия,
Июль 2006.
- [8] Д. Шефер и Дж. Х. Панчал, «Включение исследований в студенческий дизайн».
курсы: Патентно-ориентированный подход», Международный журнал механики.
Инженерное образование, 37/2 (2009), 98–110.
- [9] Б. Стаппенбельт, «Исследовательская работа в области бакалавриата в области машиностроения в
Среда обучения в действии», Международный журнал машиностроения.
Образование, 37/4 (2009), 326–340.
- [10] К. С. Солсбери и Б. Рот, «Кинематика и силовой анализ шарнирно-сочлененных конструкций».
механические руки», Журнал «Механизмы, трансмиссии и приводы в дизайне»,
105 (1983), 35–41.

- [11] С. К. Якобсен, Дж. Э. Вуд, Д. Ф. Кнутти и К. Б. Биггерс, «Юта-MIT ловкая рука: работа в процессе», Международный журнал исследований робототехники, 3/4 (1984), 21–50.
- [12] Т. Моури, Х. Кавасаки, К. Ёсикава, Дж. Такаи и С. Ито, «Антропоморфные рука робота: рука Гифу III», Материалы международной конференции по управлению, автоматизация и системы (ICCAS2002), Чонбук, Южная Корея, 2002, стр. 1288–1293.
- [13] Компания Shadow Robot, «Дизайн ловкой руки для продвинутого CLAWAR». приложений», Материалы 6-й международной конференции по скалолазанию и шагающие роботы и технологии поддержки мобильных машин (CLAWAR 2003), Катания, Италия, 17-19 сентября 2003 г.
- [14] Х. Лю, П. Мейзель, Н. Зейтц, Б. Уиллберг, Г. Хирцингер, М. Х. Цзинь, Ю. В. Лю, Р. Вэй. и ZW Xie, «Модульная мультисенсорная рука HIT-DLR», Механизм и Теория машин, 42/5 (2007), 612–625.
- [15] К. М. Сегуна и М. А. Салиба, «Проектирование механической системы и системы управления ловкий роботизированный захват», Труды Международной конференции IEEE по Электроника, схемы и системы (ICECS 2001), Мальта, сентябрь 2001 г.
- [16] М.А. Салиба, Г. Спитери, Б. Греч Солларс и К. Фарруджа, «Очень гибкий, автоматизированная система сортировки и передачи деталей», Труды 18-го И.Мех.Э. Международная конференция по гибкой автоматизации и интеллектуальному производству (FAIM 2008), Скёвде, Швеция, июнь 2008 г., стр. 428–435.
- [17] М.А. Салиба, Ф. Фарруджа, А. Джордмаина, «Компактное перчаточное устройство ввода для Измерьте положение суставов рук, запястий и предплечий человека для телеоперации.

приложений», Труды Международной конференции IEEE/APS по

Мехатроника и робототехника (MechRob 2004), Ахен, Германия, сентябрь 2004 г.

[18] М.А. Салиба, Д. Камиллери и М.Дж. Фарруджа, «Разработка

антропоморфная рука и запястье робота для телеоперации», Труды

Международной конференции IEEE по информации и автоматизации (ICIA 2005),

Коломбо, Шри-Ланка, декабрь 2005 г.

19. Н. Мифсуд, А.М. Греч, М.А. Салиба, С.Г. Фабри, «Разработка

«Антропоморфный палец робота: механические и кинематические аспекты», Труды

37-й Международный симпозиум робототехники IFR (ISR 2006), Мюнхен, Германия,

Май 2006.

[20] М. Дж. Фарруджа и М. А. Салиба, «Оптимизация руки антропоморфного робота».

проектирование посредством тестирования ловкости рук человека», Труды 37-го ИФР.

Международный симпозиум по робототехнике (ISR 2006), Мюнхен, Германия, май 2006 г.

[21] М.А. Салиба, А. Кеткути и М.Дж. Фарруджа, неопубликовано.

[22] М.А. Салиба, М. Аксиак, «Проектирование компактной, ловкой руки робота с

удаленно расположенные исполнительные механизмы и датчики», Труды 15-го IEEE

Средиземноморская конференция по управлению и автоматизации (MED'07), Афины, Греция,

Июнь 2007.

[23] У.Б. Гриффин, Р.П. Финдли, М.Л. Тернер и М.Р. Каткоски, «Калибровка и

картирование руки человека для ловких телеманипуляций», Труды

Международный конгресс и выставка машиностроения ASME; Динамика

Системы и средства управления, 69, 1145–1152.

- [24] Дж. Линь, Ю. Ву и Т. С. Хуан, «Моделирование ограничений движения человеческой руки»,
Материалы семинара по человеческому движению (HUMO2000), Остин, Техас,
Декабрь 2000 года.
- [25] Б. Абернети, С. Ханрахан, В. Киперс и Л.Т. Маккиннон, «Биофизические
основы человеческого движения», 2-е издание, Human Kinetics Europe Ltd., 2004 г.
- [26] Х. З. Тан, Б. Эberman, М. А. Сринивасан и Б. Ченг, «Человеческий фактор для
Проектирование отражающих силу тактильных интерфейсов», Труды третьего международного
симпозиум по тактильным интерфейсам для виртуальной среды и телеоператорских систем;
Отдел динамических систем и управления ASME, DSC-Vol. 55-1 (1994), 353-359.
- [27] Дж. П. Ванн и С. Ф. Ибрагим, «Действует ли проприоцепция конечностей?», Экспериментальное исследование.
Исследования мозга, 91 (1992), 162-166.
- [28] Ф. Дж. Кларк, К. Дж. Ларвуд, М. Е. Дэвис и К. А. Деффенбахер, «Метрика для
оценка остроты позиционирования суставов и конечностей», Experimental Brain Research, 107.
(1995), 73-79.
- [29] DJ Кассар и М.А. Салиба, «Перчатка с силовой обратной связью на основе
Магнитореологическая жидкость: вопросы предварительного проектирования», Труды 15-го IEEE.
Средиземноморская электротехническая конференция (MELECON 2010), Валлетта, Мальта,
Апрель 2010 года.
- [30] DJ Кассар и М.А. Салиба, «Перчатка с силовой обратной связью на основе
Магнитореологическая жидкость: разработка и оценка прототипа», Труды
1-я Международная конференция IEEE по прикладной бионике и биомеханике
(ICABB-2010), Венеция, Италия, октябрь 2010 г.

[31] VR Logic, Cybergrasp, <http://www.vrlogic.com/html/immersion/cybergrasp.html>,

По состоянию на 15 июля 2011 г.

[32] С. Накагавара, Х. Кадзимото, Н. Каваками, С. Тати и И. Кавабути, «Ан

Многопалаая мастерская рука контактного типа с использованием обходных суставов .

Международная конференция IEEE по робототехнике и автоматизации, Барселона, Испания,

Апрель 2005 г., с. 2667–2672.

[33] Веб-страница NI Labview, <http://www.ni.com/labview/>, по состоянию на 15 июля 2011 г.

Таблица 1. Сводка результатов измерения точности положения суставов

Соединение	Средняя ошибка	Максимальная ошибка
Вращение большого пальца	0,9о	2 ^о
Сгибание большого пальца	0,6о	2 ^о
Сустав 1 указательного пальца («MCP»)	3.1о	6 ^о
Сустав 2 указательного пальца («PIP»)	1.4о	3 ^о
Сустав среднего пальца 1 («MCP»)	2.4о	4 ^о
2-й сустав среднего пальца («PIP»)	3.0о	5 ^о
Сустав безымянного пальца 1 («MCP»)	1,7о	4 ^о
Сустав безымянного пальца 2 («PIP»)	1.6о	5 ^о

Подписи к рисункам

Рисунок 1. Гибкая система автоматизации; Вставка: универсальный захват.

Рисунок 2. Телеуправляемая рука и перчаточное устройство ввода; Врезка: измерение человеческие цепляющие силы.

Рисунок 3. Палец антропоморфного робота. Слева: вытянуто, с рысканием; Справа: полностью согнута.

Рисунок 4. Механизм соединения троса и шкива между соединением 2 и соединением 3 кабеля. Палец робота показан в вытянутой и частично согнутой конфигурациях.

Рисунок 5. Вверху: естественный угол поворота большого пальца человека (приблизительный); Внизу слева: створка для крепления большого пальца и механизм вращения в руке робота; Нижний Справа: прикрепление большого пальца к клапану, показывающий поворот большого пальца на 20° . По отношению к оси вращения большого пальца.

Рисунок 6. Новая антропоморфная рука RIAL. Слева: чертеж САПР; Правая рука опытный образец.

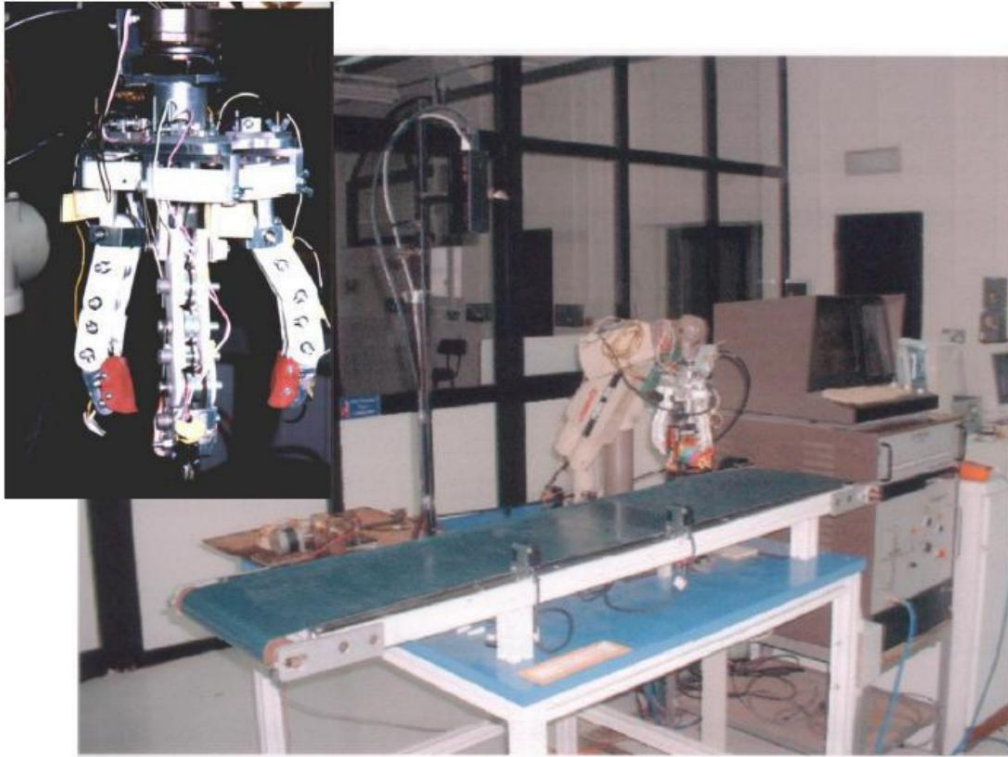
Рисунок 7. Схема исполнительной и сенсорной систем для одного пальца руки. Слева вверху: датчик положения троса; Вверху справа: датчик усилия троса; Внизу: двойной система срабатывания двойного действия, показывающая местоположение положения и силы датчики. Система срабатывания/чувствительности расположена удаленно от руки и Передача происходит через гибкие кабели с оболочкой.

Рис. 8. Программа определения положения LabVIEW — дисплей на передней панели.

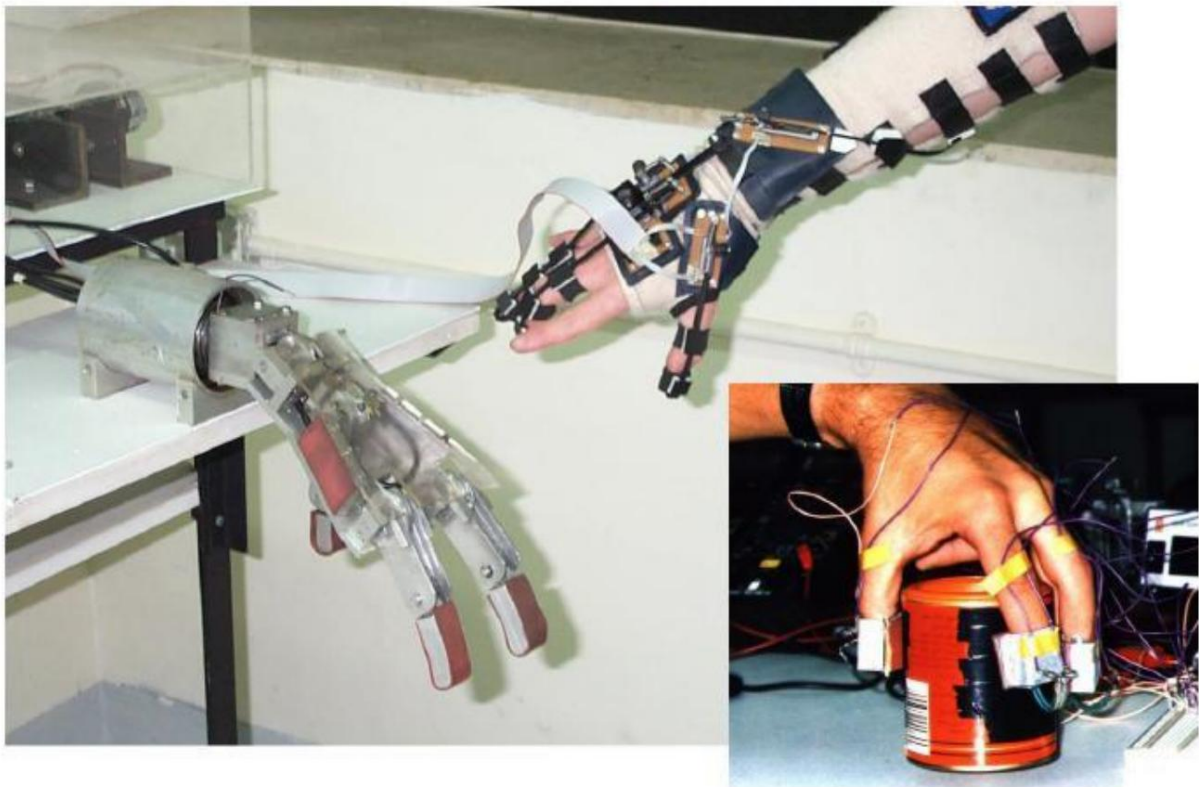
Рисунок 9. Устройства измерения положения суставов для калибровки. Слева: самый внутренний и средние сгибательные суставы пальцев; Справа: вращательный сустав большого пальца.

Рисунок 10. Калибровочная кривая положения среднего сгибательного сустава среднего пальца.

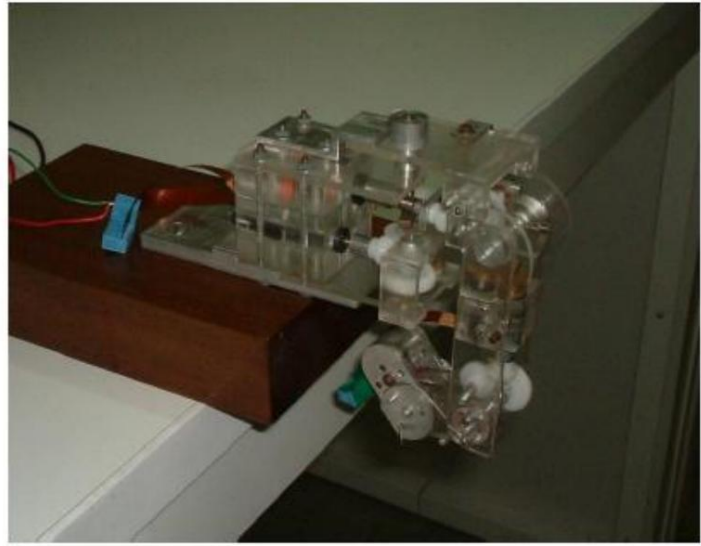
Рисунок 11. Калибровочная кривая датчика силы среднего сгибательного сустава среднего Палец.



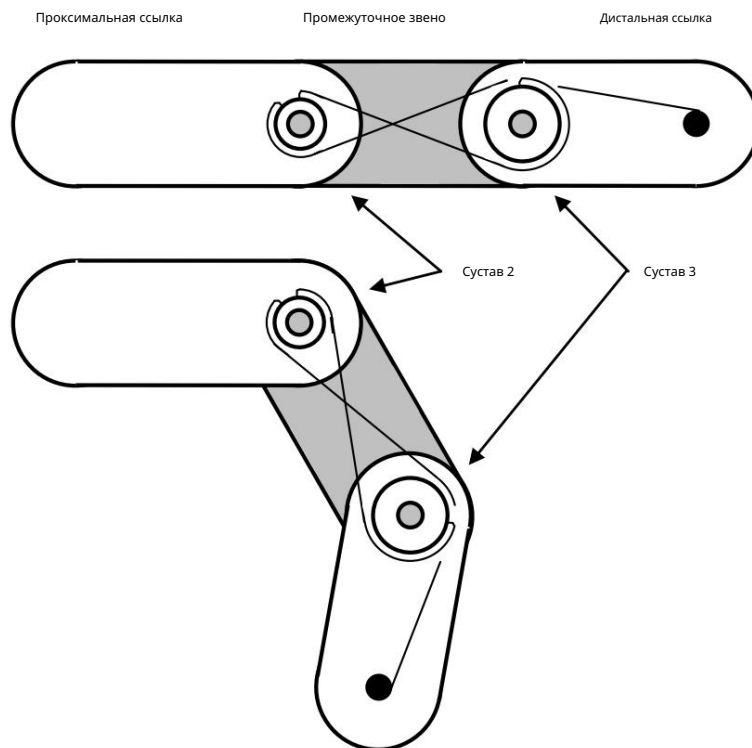
Инжир. 1.



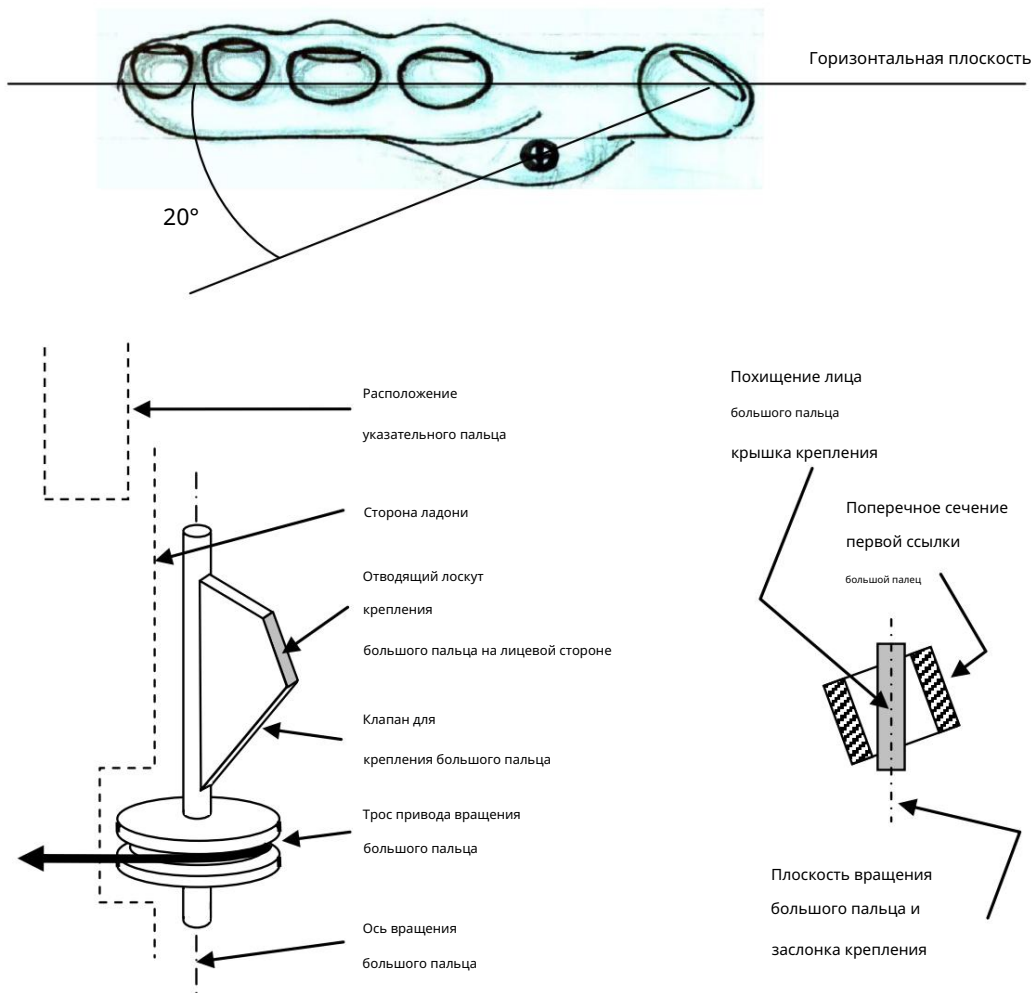
Инжир. 2.



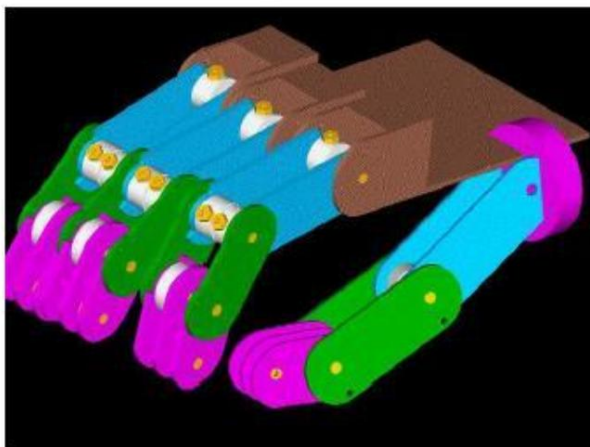
Инжир. 3.



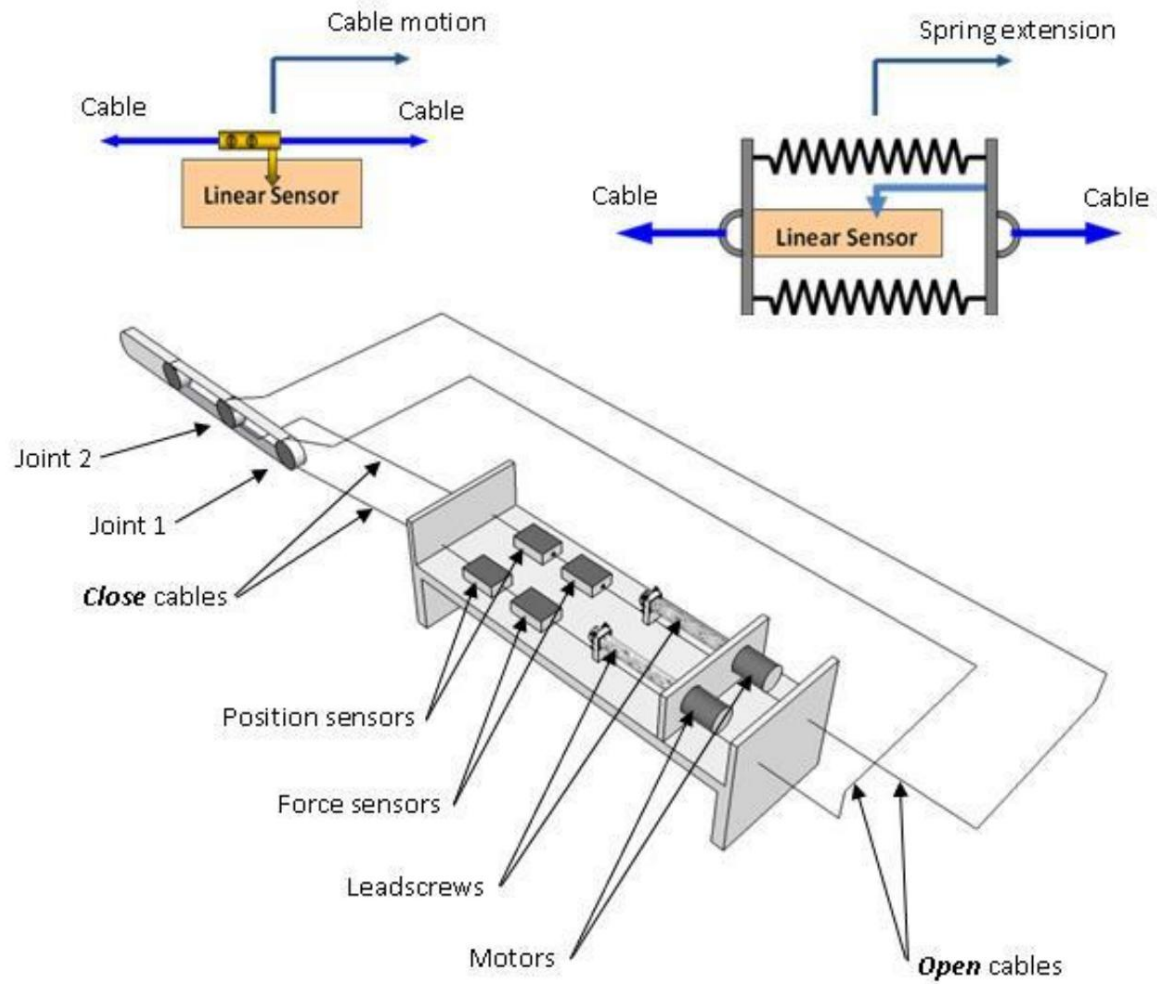
Инжир. 4.



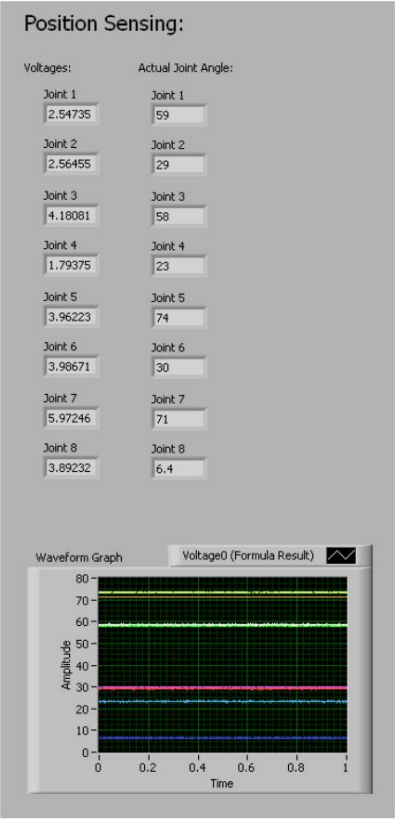
Инжир. 5.



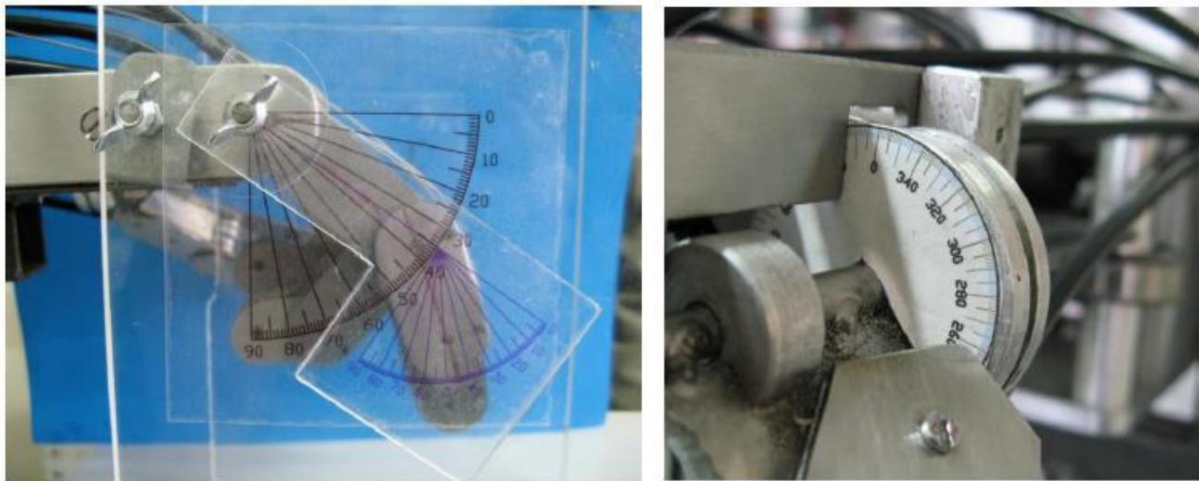
Инжир. 6.



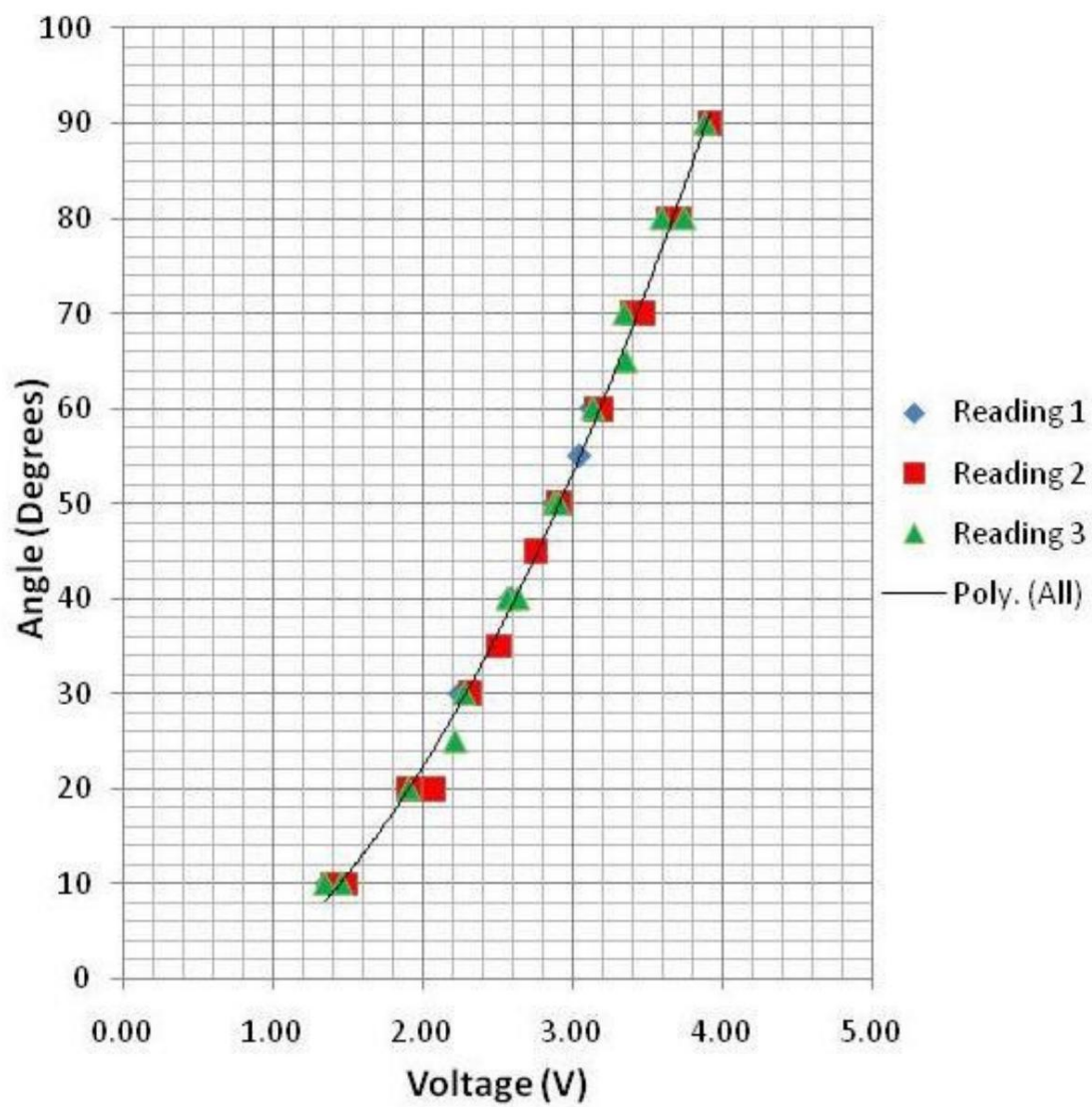
Инжир. 7.



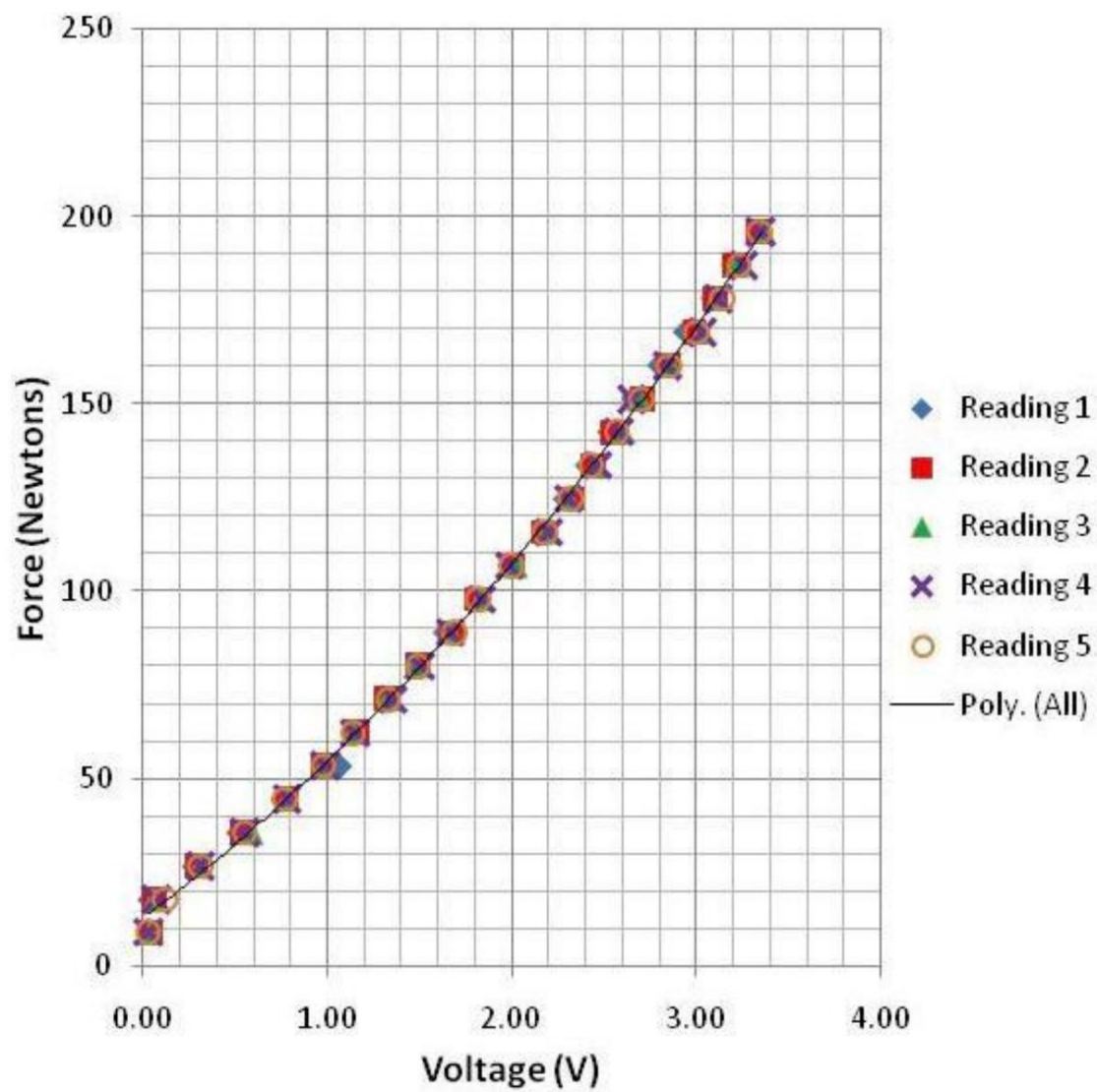
Инжир. 8.



Инжир. 9.



Инжир. 10.



Инжир. 11