



Списки Содержание доступно на ScienceDirect

Робототехника и автономные системы

журнал Домашняя страница: www.elsevier.com/locate/robot

Teleoperation из SCHUNK S5FH под приводимые в действие вручную с помощью антропоморфного
человеческой руки отслеживания движения



Илария Cerulo, Фанни Ficuciello*, Винченцо Lippiello, Бруно Siciliano

Dipartimento di Ingegneria Elettrica e Tecnologie dell'Informazione, Università degli Studi di Napoli Federico II, через Claudio 21, 80125 Napoli, Италия

Основные моменты

- Пульт дистанционного управления антропоморфного робота стороны путем отслеживания движения рук человека.
- Повышать исследование манипуляции с человеческой рукой и перенести их на роботизированные руки.
- Упрощенная человеческая рука кинематическая модель выбирается в соответствии с методом отслеживания.
- Решение протокола маркера, минимизировать количество используемых маркеров развиваются.
- Алгоритм динамической маркировки и точная реконструкция движения.

articleinfo

История статьи:

Поступила 4 мая 2016 Принята 12 декабря 2016

Доступные онлайн 21 декабря 2016

Ключевые слова:

Ручные пальцы отслеживания
Telemanipulation поструральной
синергии

Аннотация

Эта статья описывает развитие дистанционного управления обработки антропоморфного робота стороны, SCHUNK S5FH, используя человеческую руку в качестве ведущего путем измерения его движения с OptiTrack технологии. Цель thiswork является enhancemanipulation исследования по humanhand и мгновенно передавать эти исследования на роботизированную руку. Предварительное исследование onmethods и устройство, используемый для пальцев отслеживания привели к выбору упрощенной кинематической модели человеческой руки на основе имеющейся системы отслеживания движения. Используя те же критерии, анализ протоколов распределения маркеров привел определить количество и способ их расположения на пальцах и ладони. Для того, чтобы преодолеть ограничения системы захвата движения, способ идентификации и маркировки была разработана в соответствии с их анатомического расположения. После этого, отслеживание выполняется с использованием ограничений между маркерных позиций на кинематической цепи руки и динамического алгоритма маркировки надежной по отношению к шуму, выпадающих и потери маркеров. Проверка выполняется с помощью правой руки различных субъектов и с учетом различных задач, связанных с сгибание / разгибание и похищением / adductionof пальцев и большого пальца оппозиции. Для тестирования и проверок, предварительные исследования взаимодействия для задач манипуляции, таких как завинчивание чашки, были проведены на человеческие руки и переданы на роботизированную руку. Проверка выполняется с помощью правой руки различных субъектов и с учетом различных задач, связанных с сгибание / разгибание и похищением / adductionof пальцев и большого пальца оппозиции. Для тестирования и проверок, предварительные исследования взаимодействия для задач манипуляции, таких как завинчивание чашки, были проведены на человеческие руки и переданы на роботизированную руку. Проверка выполняется с помощью правой руки различных субъектов и с учетом различных задач, связанных с сгибание / разгибание и похищением / adductionof пальцев и большого пальца оппозиции. Для тестирования и проверок, предварительные исследования взаимодействия для задач манипуляции, таких как завинчивание чашки, были проведены на человеческие руки и переданы на роботизированную руку.

© 2016 Elsevier BV Все права защищены.

1. Введение

Рука одна из самых интересных анатомической части человеческого тела для **биомеханической сложности [1, 2]** и **функциональные навыки [3 - 5]**. По тем же причинам также является наиболее трудно воспроизвести искусственно с точки зрения механики, кинематики, датчиков [6 - 8] И последнее, но не в последнюю очередь стратегий планирования и управления [9, 10] а также [11]. Интерес робототехники в изучении анатомии и функции человеческой руки оправдан для того, чтобы воспроизвести и подражать его как для протезирования и робототехнических приложений, где человеческое существо заменяются вместе с навыками манипулирования

от антропоморфного робота. После того, как рука кинематическая модель выбирается на **основании известных исследований в литературе [12, 13]**. Еще одна сложная задача состоит в том, чтобы отслеживать движение. Отслеживание рук представляет большой интерес для многих исследований области, поскольку она поддерживает neurophys- исследования iology о **структурах движения и мульти-сенсорной интеграции [14 - 18]**, **Робототехнические исследования по био-вдохновил алгоритмов tapir- управления авляет [19, 20]**, **Антропоморфные руки дизайн [21, 22]**. А также исследование на **пулте дистанционного управления и telemanipulation [23 - 25]**. В этой статье мы приводим методологический подход к передаче в режиме реального времени движения рук человека к роботизированным рукам для дистанционного управления обработкой. Прежде всего, способ видения на основе для отслеживания руки человека был принят. Для того, чтобы обеспечить систему слежения с надежностью и надежностью, основной вклад дается нахождение решения протокола маркеров, который минимизирует количество utilizedmarkers, и алгоритм динамической маркировки и точную реконструкцию движения. Цель состоит в том, чтобы

* Соответствующий автор.

Адрес электронной почты: ilaria.cerulo@gmail.com (I. Cerulo), fanny.ficuciello@unina.it (Ф. Ficuciello), vincenzo.lippiello@unina.it (В. Lippiello), bruno.siciliano@unina.it (Б. Сицилиано).

адаптировать имеющиеся технологии для исследований манипулирования человека должны быть переданы в режиме реального времени на роботизированное устройство. Принятые растров, направленный на упрощение процедуры отслеживания движения для дистанционного управления испытаны на underactuated роботизированной стороны, SCHUNK 5-палец рука (S5FH) [26]. Тем не менее, исследование не ограничиваются конкретными роботизированными руками с аналогичными кинематиками. Действие телны, парадигматическая модель человеческой руки и расположение маркеров были выбраны с 15 степенями свободы (степени свободы) и 20 степеней подвижности. Эта модель является достаточно полной и эффективной, чтобы описать функциональность здоровых испытуемых при выполнении захвата и манипулирования задач. По данным предыдущих исследований авторов [27], Эта модель подходит для передачи сараностей человека к различной кинематике нескольких пальцев рук. Таким образом, эта работа представляет собой идеальный инструмент для разработки роботизированных стратегий планирования и контроля руки. Следовательно, с целью разработанного метода, валидация установки зависит от качественной оценки синергетических на основе задач манипуляции.

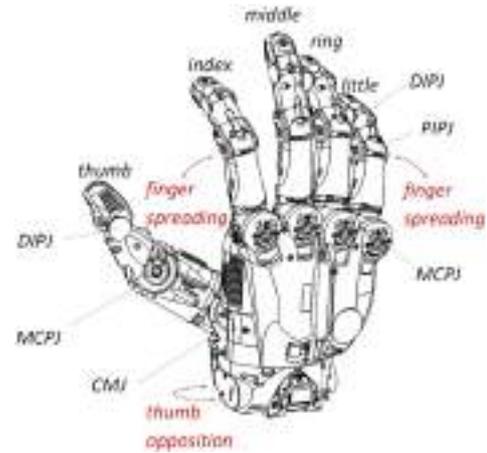


Рисунок 1. Движение пальца SCHUNK S5FH проиллюстрированы.

2. Связанные работы

Themain вопросы, которые остаются важными в этой области исследований являются кинематическая descriptionof руки (jointsmodel, число степеней свободы, расположение осей ссылок и центров вращения), оптимизация протокола маркера (видимость маркеров, правильных ограничения для движения реконструкции) и отображение между движениями маркеров и движением руки кинематики. Точное знание рук кинематики является желательным, но не является абсолютно необходимым и потому, что сложность задачи и изменение анатомических особенностей среди дифференциальных субъектов ferent. Скорее всего, это полезно иметь достаточно верную кинематическую модель, чтобы позволить основные функции движения. Многие исследования были проведены на функциональности руки [28 - 30]. И, в частности, из пальца, который среди пальцев является более сложным с увеличением подвижности и способности оппозиции [31 , 32]. С другой стороны, в режиме реального времени отслеживать движение рук фаланг и сочленений является довольно сложной задачей, и результаты сильно зависят от используемой технологии. Для того, чтобы преодолеть технологические ограничения необходимы некоторые упрощения и предположения [33 - 35]. В тех- гий для измерения движения рук могут быть разделены на классы twomain: перчатка на основе [36] и видения-basedmethods [37]. Перчатки представляют собой электромеханические устройства, простые для использования с датчиками носить на руке. Они имеют два основных недостатка: они не приспособлены через руку различных предметов и движения пальцев обнаружены с небольшой точностью. Методы, основанные на зрении, с другой стороны, являются более точными, но имеют проблемы с окклюзией и шума. Об отслеживания зрения, были разработаны на основе модель и метод маркеров на основе. Технология Kinect интенсивно используется в течение долгого времени для отслеживания руки, так как он интерпретирует 3D сцен благодаря датчику глубины в сочетании с камерой RGB. В [38] Маркерные менее визуальные наблюдения, основанные на модели было разработаны для отслеживания 3Dposition и ориентации рук ссылки и полных сочленений. Однако связь между движением фаланг и кинематических и динамических переменных не просто из-за большого числа степеней свободы и сложности ручной биомеханики, таким образом точной оценки кинематики и динамической модели, в режиме реального времени маркера менее track- ИНГ, представляет собой сложную задачу. С другой стороны, отслеживание угловых положений usingmarkers предполагает знание рук кинематики, которая не полностью соответствует в анатомической литературе [29 , 30]. Кроме того, из-за закупорки и смещение кожи, она требует современной и специальной технологии отслеживания 3D движения. Различные методы были предложены в литературе, некоторые из них больше подходят для реальных приложений времени, и каждый из них предлагает SO- lutions моделировать руку и передать 3D-позиции маркеров в зависимости от используемой технологии [39 , 40]. Кроме того, sincemo- Тيون слежение systemfeatures редко complieswith роботизированной руки кинематической структуры, статистические методы, например, недушистый фильтр Калмана и Иерархический байесовский фильтр [41 , 42], и оптимизация подходов [43 , 44], Используется для восстановления движения.

3. SCHUNK S5FH

SCHUNK 5-палеца руки (S5FH) [26] Является антропоморфной роботизированной рукой с электроникой полностью интегрирована в запястье и кинематическая структура позволяет выполнять практически все движения человека. Большинство соединений приводятся в действие с помощью свинцово-винтовых механизмов, преобразующих линейную во вращательное движение, и большинство из них соединены таким образом, чтобы воспроизвести естественные движения с использованием меньшего числа независимых степеней свободы.

3.1. Кинематика SCHUNK S5FH

S5FH имеет 9 серводвигателями движущиеся 21 DOFs (рисунок 1). Немного палец шарнирный для Аддукция / abductionmotion ismechanically в сочетании с индексом и кольца фаланговых (MCP) суставами пальцев, чтобы произвести распространение и имеет больший диапазон движения относительно других пальцев, чтобы лучше имитировать анатомическую функцию. TheMCP, проксимальных межфаланговых (ПИО) и дистальной межфаланговых (ДИП) соединения кольца и мизинец соединены и изгибаться вместе переместились bymeans из onemotor для каждого пальца (Рис. 2). Индекс andmiddle PIP суставы независимо друг от друга drivenbymeans механизма ходового винта, чтобы имитировать действие «триггера аппликатура», в то время как DIP и PIP движение соединены посредством жесткой связи. Палец имеет два двигателя. Один двигателя посвящен движению сгибания carpometacarpal (CM), MCP и DIP-сгибательные суставы, которые механически соединены. Второй двигатель определяет oppositionof на thumbwith остальные пальцы, Inparticular противопоставление большого пальца в сочетании с движением двух дополнительных степеней свободы в palmknopw в качестве humanhand themetacarpocarpal (MCC), суставы маленьких и средних пальцев.

4. OptiTrack система захвата движения

Система захвата движения используется для отслеживания руки человека состоит из мокап технологии OptiTrack [45] С 20 эр Кам- премьером 13 категории, расположенной на структуру, как показано на Рис. 3 , Рука комплект костюм и Tracker программное обеспечение Мотивом для 6 отслеживания объектов ГРИП. Имеющееся программное обеспечение трекер не задумано для отслеживания bodymotion и особенно для отслеживания руки. Для адаптации systemto наш needswe selected10 из 20 камер заказовМои повторно дуче наблюдаемое пространство и, таким образом, мерцание слежения из-за того, что более удаленные камеры не могут быть в состоянии обнаружить givenmarker в каждом кадре. Выбор расположения камеры и ориентация был сделан таким образом, что каждый маркер

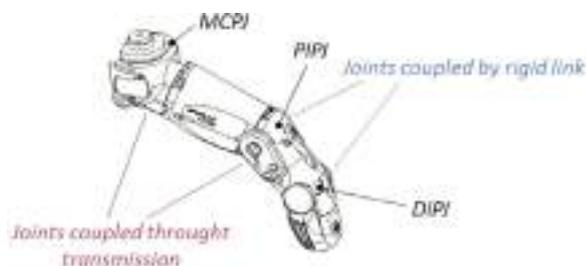


Рис. 2. SCHUNK SF5H палец кольцо.



Рис. 3. Летательный арена.

во всех возможных движениях отслеживаются по меньшей мере, два камерами для триангуляции 3D позиции. Так как для нашей цели мы должны отслеживать 13 markers на очень близком расстоянии, требуется точная калибровка. После того, как группа камер были выбрана и соответствующим образом ориентированной, только уменьшенный объем по отношению ко всей летающей арене был откалиброван путем перемещения в пространстве универсальной палочки с несколькими настраиваемыми наборами маркеров. После того, как калибровка камеры была выполнена, и их положение в пространстве было получено, объект с прикрепленными маркерами на известных положениях, так называемый «земли», решается в качестве начала системы отсчета объема работы.

4.1. комплект для рук

Для слежения за руки, мы использовали набор, состоящий из двух перчаток, десять маркеров пальцев и четырех маркеров для запястий и предплечий. Это движение захвата костюма, как полагают, будет использоваться с программным обеспечением Motive тела. Для нашей установки и целей мы использовали только одну перчатку, десять маленьких маркеров для одной стороны пальцев и три больших маркеров для ладони, как подробно описано далее показаны в Рис. 7.

5. человеческая рука

Кинематика рука человека не полностью соответствует в анатомической литературе [29, 30] И, следовательно, можно найти несколько

исследования по выявлению действительных моделей [2, 28, 32]. Для того, чтобы смоделировать кинематическую структуру человеческой руки, каждый палец может быть представлена схематически с помощью кинематической цепи и основанием ладони (в центре запястья) можно рассматривать в качестве начала отсчета.

5.1. Кинематика человеческой руки

Из-за сходства с рукой S5FH мы отсылаем к работе в [46]. Fingers metacarpophalangeal (MCP) суставы two- Grees свободы (Рис. 4), Так что удобно представить themwith эллипсоидального сустава, позволяя сгибание / разгибание (MCP θ) и adduc- Тион / отведение (MCP ϕ); проксимальный межфаланговые (ПИО) и дистальные межфаланговый (DIP) соединения имеют одну степени свободы и могут быть смоделированы с шарниром, который позволяет движения сгибания / расширению. О большом пальце, то trapeziometacarpal (TM) сустав, как седло совместного позволяя сгибание / разгибание, приведение / похищений и кругового движение, межфалангового (IP) и metapha- langeal (MP) суставы имеют одну степени свободы. Кроме того, маленькие и средние пальцы имеют один дополнительный DoF в ладони, такие как metacarpocarpal (MCC) сустав. Наиболее часто используемые ограничения движения суставов [31, 32], Перечислены следующим образом:

(1) Диапазон движения суставов пальца, можно предположить, как:

$$0 \leq \theta_{MCP} \leq 90 \text{ град} \quad 0 \leq \theta_{PIP} \leq 90 \text{ град}$$

$$110 \text{ град} \leq \theta_{DIP} \leq 90 \text{ град} - 15 \leq \theta_{MCP}$$

$$\leq 15 \text{ град}$$

(1)

(2) Для диапазона аддукции / отведения движения середины палец это обычно принято приближение-градусов:

$$\theta_{MCP} = 0.$$

(2)

(3) Соотношение между PIP и DIP суставов пальцев

Можно предположить, как:

$$\theta_{DIP} = 0.7 \theta_{PIP}.$$

(3)

5.2. Парадигматическая модель

Начиная от описанной выше модели, кинематика парадигматической модели человеческой руки была выбрана и описана ниже. Ладонь считается жестким, таким образом, theMCP суставы четырех пальцев и соединения TM пальца считаются фиксированными и их относительное расстояние не меняется. Этот выбор имеет положительные результаты в движении отображения на S5FH из-за кинематических соединений между большим пальцем оппозицией и дополнительным соединением в the palm that позволяет кольцо и мизинец оппозиции. Для простоты предполагается, что приведение / abduction motion большого пальца, по существу, определяется TM шарнирного при условии 2 степеней свободы, обеспечивающих также движение сгибания / расширение, и что MCP сочленение имеет только одну степень свободы и в сочетании с движением IP сгибания. Пальцы кинематика равны и присутствуют 3 DOFs каждый с соединением между PIP и DIP суставов. Из вышесказанного можно представить кинематическую цепь человеческих пальцев, как показано на 5.

6. Технический подход для отслеживания рук человека

6.1. протокол Marker

Последние достижения в плане разрешения датчиков позволили использовать небольшие маркеры, чтобы поймать небольшие объемы размера, где могут быть воспроизведены естественные движения руки. Однако выбор

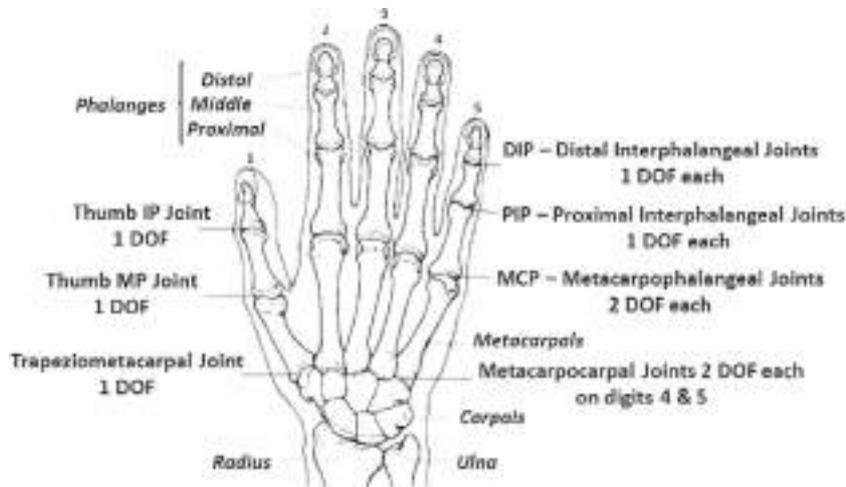


Рис. 4. Человеческая рука [46].

из числа маркеров и их расположения является важным вопросом minimize препятствий и потери информации. В thiswork, каждый палец фаланга была идентифицирована с помощью singlemarker. Из-за небольшого размера человеческой руки, короткие взаимные расстояния были затруднены восстановление движений. Это происходит, скорее всего, когда система слежения думал отслеживать жесткие объекты thatmove в spacemuchbigger затем в handworkspace. Допуская ограничений и неявные пары человеческой руки, проблема решена за счет сокращения как можно больше количество маркеров, расположив их, как далеко друг от друга, насколько это возможно, но правильно реконструировать движения всех фаланг, и делая алгоритм реконструкции прочный по отношению к шуму, выпадающих и потери маркеров. По сравнению с работой проанализированы в литературе [47 - 49] Мы использовали меньше количество маркеров, в частности, 13 маркеров были использованы, 10 на пальцы и 3 на тыльной стороне рук (Рис. 7). Три маркера на тыльной стороне рук используются только для работы преобразования между ладонью и рамой камеры таким образом, чтобы получить координаты 10 маркеров пальцев в ладони кадре. В 10 маркеров на пальцах расположены близко к MCP и DIP суставов пальца, и ПГИ и DIP суставов пальцев. Для обнаружения сгибания / разгибания и приведения / движение похищения суставов пальцев MCP и TM сустава большого пальца, виртуальные маркеры рассмотрены на руку и расположены на парадигматической модель после калибровки, выполняемой на предметных измерениях вручную. В частности, маркеры выделяются на пальцы опорной рамы. Калибровки описана в следующем разделе.

Алгоритм для динамической маркировки, чтобы предотвратить потерю маркеров и обеспечить непрерывность через переходную раму, основан на предположении, что число маркеров сохраняются, таким образом, этот кадр отбрасывается, когда меньшее число маркеров (из-за окклюзий) или большее число маркеров (из-за искажение) обнаруживается. Кроме того, координаты маркеров обновляются при переходе от кадра к следующему, только если расстояние между ними составляет менее определенного порога (который принимается равным 0,7 мм). После того, как раствор протокола маркеров, который сводит к минимуму количества, и algorithmfor динамической маркировка были принято, надежность и надежность отслеживания algorithmhave резко возросли до reachingmore than98% успеха inperforming полной задачи завинчивания, 7,2 ,

6.2. Человеческая рука отслеживание движения

Движение пальцев восстанавливаются из маркеров, отслеживается на ладонь кадре, на основе парадигматической модели человеческой руки соответствующим образом масштабируется от объекта измерений вручную.

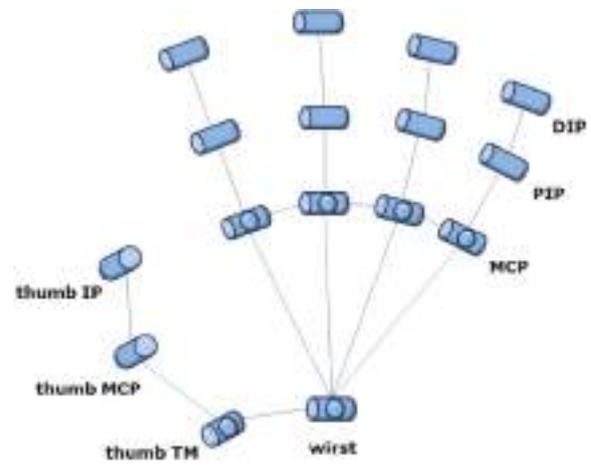


Рис. 5. Упрощенная кинематическая модель человеческой руки.

Калибровка парадигматической handmodel выполняется на ранней стадии во время начальной процедуры возврата в исходное положение на основе размеров рук каждого субъекта. Для каждого предмета, пальцы измеряют длину и парадигматические модели кинематики по-разному масштабируется для каждого пальца bymultiplying линейных параметров Denavit-Хартенберг, оседлые равным единице, для соотношения человеческого пальца общей длины. Проверка модели затем выполняется для проверки благости кинематики с использованием Matlab моделирования путем сравнения положения кончиков пальцев на ладони рамке человеческой руки и парадигматической стороны в конфигурации дома. Во время самонаведения рука помещается, с помощью опоры, в таком положении, когда все стыки модели устанавливается в нуль.

Так как 3D позиция маркеров измеряются в кадре камеры, однородное преобразование между камерой и пальмовым кадром необходимо в каждом полученном изображении. Когда позиции, по крайней мере threemarkers известны в обоих кадрах, однородное преобразование может быть вычислено на каждый образец времени. Для этой цели три маркера расположены на orpisthenar руки и точных координат в ладони кадре, полученных в ходе начальной процедуры возврата в исходное положение. Эта процедура служит для получения первого гомогенного преобразования между рамой камеры и ладонью, и для обозначения маркеров на руке. Используя пять Mark-ERS, расположенных в известных положениях по отношению к ладони кадра (см Рис. 6) И приобретение их положения в кадре камеры,

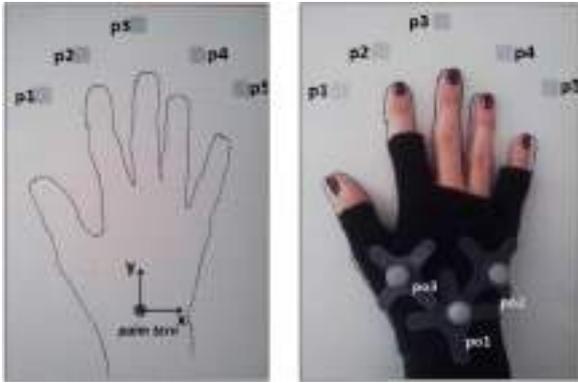


Рис. 6. Положение самонаведения.



Рис. 8. Статическая процедура маркировки.



Рис. 7. расположение маркеров на руке.

однородное преобразование вычисляется и маркеры opisthenar представлены в упоре раме. Ладони рама (Рис. 6) имеет y - Ось выровнена в направлении среднего пальца, то

$Икс$ -ось ортогональна в ладони плоскости и направлена в сторону мизинца, то z -ось направлена, чтобы сформировать кадр правой руки. Базовые рамы каждого пальца имеет ту же ориентацию ладони кадра в то время как большой палец рама поворачивается вокруг Z Ось 40° и происхождение сосредоточено на TM артикуляции. Для статической маркировки, пальцев и каждые маркеров, расположенных на нем обозначена процедура, описанную ниже. Пальца идентифицируется путем приведения в действие элемента управления на $Икс$ координат, начиная с самого низкого значения в сторону $Икс$ - положительное направление оси, а затем с учетом минимального расстояния от ладони кадра. Для остальных пальцев вместо этого мы сделать контроль маркеров, первым на $Икс$ - Ось затем на

y - ось. Прежде всего, $Икс$ координат определены в порядке возрастания, то соответствующая координата y вычисляется таким образом, чтобы сгруппировать маркеры попарно из индекса к мизинца. Чем меньше y - координата каждой группы пальцев, определить идентификацию PIP суставов и, таким образом the DIP идентифицируется, следовательно. Для лучшего понимания см Рис. 8 Для отслеживания движения, совместное перемещение An- GLES вычисляются позиции from constraints between marker на кинематической цепи руки. Координата транс-формацию маркера p_i выражается в ссылке на местном, в кадре, прикрепленный к предыдущей ссылке в кинематической цепи, p_i задается следующим уравнением:

$$p_p - p_z(\beta) p_{икс}(\alpha) p_l \quad (4)$$

где $p_z(\beta)$ а также $p_{икс}(\alpha)$ является два элементарной матрицей вращения. Поворотные оси и преемственность между элементарными поворотами ними зависит от того, как кадры распределены по ссылкам, а углы поворота зависят от движения руки человека и представляют собой неизвестную величину, которую мы хотим получить, решая уравнение. (4) возникает в этой форме, поскольку отсчет по ссылкам

распределяются в соответствии с конвенцией Denavit-Хартенберг. В частности, уравнение. (4) имеет место, когда маркер находится на проксимальном phalanx whose motion является given by the MCP joint with 2DoFs. When маркер прикрепляется к средней фаланге только одна матрица вращения считается.

6.3. Отображение движения по кинематике Schunk

Шунк рука находится под приводом и при условии, 9 двигателей, таким образом, имеет совместную и пальцы муфты. Рассмотренная человеческая рука парадигматическая модель имеет 15 независимых совместные переменные в предположении, что имеет место уравнения. (3) . Следовательно, мы имеем избыточную информацию, которые отображаются, как описано ниже.

- Индекс and middle является только два fingers whose движения сгибания может быть отображено точно совместным с помощью шарнира, так как MCP и PIP сгибания суставов перемещается отдельными моторами. Таким образом, отслеживаемые совместные углы приведены в качестве ссылки на соответствующие четыре двигателей.
- Кольцо и мизинцы есть только один двигатель соотносен на MCP сгибании сустава, что посредством механических соединений, движется также PIP и DIP сочленений. Таким образом, измеренная MCP сгибание от движения руки человека, используют в качестве эталона для уникального двигателя, который движется три сгибания суставов два пальцев.
- О пальце, движение аддукции / похищения ментальна измеряемый от человеческой руки и даются в качестве ссылки на двигатель предыдущего смещение, чтобы приспособить различные диапазоны движения для оппозиции. Палец оппозиция в сочетании с дополнительным совместным движением, выделенным в ладони, обеспечивающее сопротивление кольца и мизинцев. Для трех сгибательных суставов, роботизированный палец имеет один независимый двигатель. В человеческом эмпирическом TM сгибание суставов двигается меньше и независимо друг от друга по отношению к суставу MCP. Таким образом, если мы дадим измеряемое движение первого сгибании сустава человеческого пальца в качестве ссылки на the motor роботизированной руки, движение сгибания не может быть оценен и не верно, что руки человека, по этой причине мы выбрали для рассмотрим среднее между TM и MCP измеренным сгибании контролировать S5FH.
- О движении распространения, то Шунк рука имеет один двигатель, расположенный на мизинец, который перемещает все пальцы одновременно, за исключением среды, которая имеет похищение всегда равен нулю. Таким образом, измеренное приведение человека



Рис. 9. Упрощенная блок-схема аппаратных компонентов и соединений.

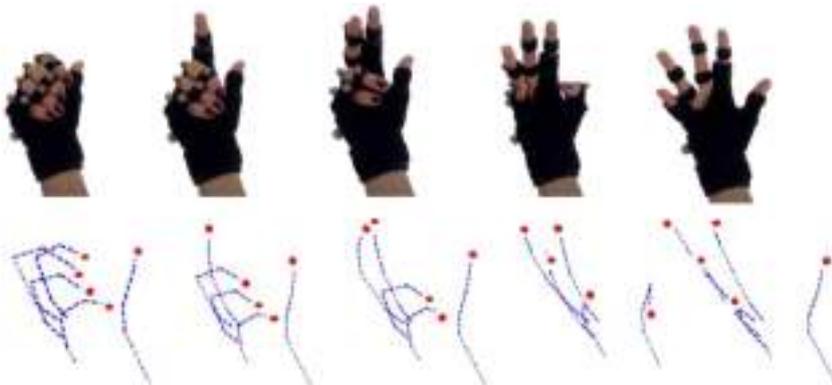


Рис. 10. Отслеживание человеческой руки при подсчете.

мизинец даются как распространения совместных переменные роботизированной руки из-за сходство между ofmotion диапазонов и человеческим типом соединений в S5FH.

Наконец, для того, что было сказано до сих пор движения человеческой руки не точно воспроизведены из-за структурные ограничения, это относится, в частности, к большим и последним два пальца.

7. Эксперименты

Экспериментальная установка состоит из различных аппаратных средств и программного компонента, подключенного через UDP клиент / сервер просьбу. Схема подключения показана на Рис. 9, Система OptiTrack состоит из 1,3 Мп камер (1280 Икс Resolution тысяча двадцать-четыре и 240 кадров в секунду), который обнаруживает отражательные маркера, размещенные на перчатке и пальцах. Маркеры позиции в глобальной системе координат передаются с использованием NatNet SDK через локальную сеть к ПК, который управляет рукой Schunk, подключенный через USB. Клиент NatNet был изменен в соответствии с applicationneeds. S5FH контролируется

с помощью пакета Robot Operating System (ROS), который содержит драйвер для интерфейса низкого уровня и позволяет легко контролировать вручную, используя индивидуальные библиотеки, написанные на C ++. Робототехника System Toolbox используется для обеспечения интерфейса между MATLAB и ROS в таких далеко, чтобы создать узел inMATLAB ROS для обмена сообщениями с узлом драйвера вручную. В частности, информация, представленная OptiTrack обрабатываются в узле MATLAB для преобразования координат и прямой кинематической вычисления для расчета переменных, представляющих интерес, а затем генерировать ссылки двигателя для роботизированной руки.

7.1. Отслеживание рук и teleoperation

Чтобы проверить совершенство технического подхода для расположения маркеров, динамической маркировки и обработки данных, приобретенные позиции были обработаны и затем использоваться в автономном режиме, чтобы реконструированной структура моделирования humanhandmotion inMATLAB. Aqualitative оценка simulatedmotion дает хорошие результаты, так как дифференциальных задач, как заворачивание чашку и подсчетом, было воспроизведено реально, см Рис. 10 а также 11 ,

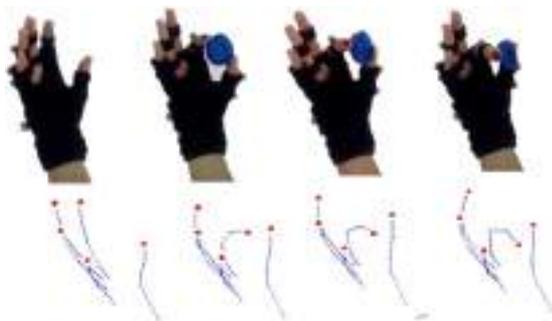


Рис. 11. Отслеживание человеческой руки в заливании чаши.

После качественной оценки человеческого движения рук track- Инг, отображение на руке Schunk было выполнено в режиме реального времени для дистанционного ручного управления роботизированного в teleoperation. В Рис. 12 выбранные позы в S5FH во время реального времени дистанционного управления для подсчета задач сообщаются вместе с относительными изображениями с программного обеспечения, которое управляет OptiTrack маркеров отслеживания. Анализ изображений с помощью программного обеспечения Motive Tracker, можно заметить, что число маркеров может стать меньше, чем 13, как и в первом изображении. Это происходит потому, что камеры далеки от руки и маркеры могут быть потеряны или окклюзии во время движения. Алгоритм непрерывности в этих случаях сохраняет позиции потерянных маркеров на предыдущем этапе таким образом, что Шунк рука

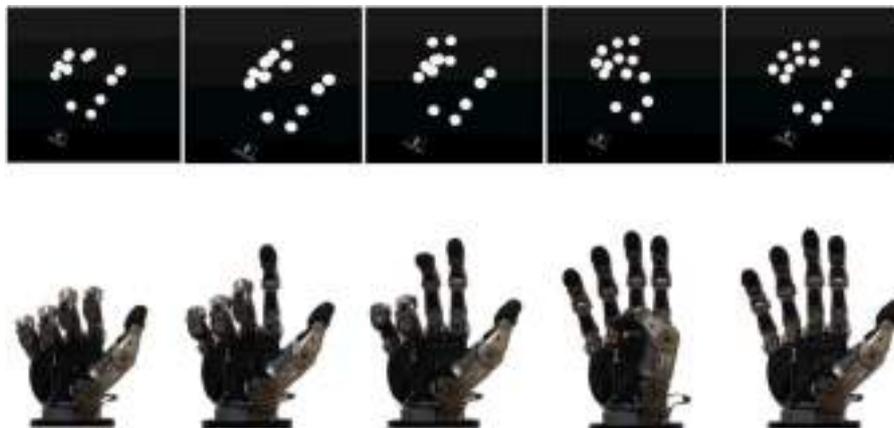


Рис. 12. В режиме реального времени дистанционное управление SCHUNK S5FH для подсчета задачи.



Рис. 13. Снимки видео, показывающие teleoperation в SCHUNK S5FH приводимого человеческой руки.

продолжает следить и воспроизводить движение. Таким образом, алгоритм track- ИНГ и вся процедура отображения будет работать должным образом, как можно наблюдать в Рис. 13, Где изображения человеческой руки, что приводит в реальное время роботизированную руки сообщается для дискретных поз.

7.2. Изучения человеческих манипуляций для проверки

Развитая приложение позволяет калибровку модели ручной кинематики с учетом анатомических характеристик различных предметов, проверок различных конфигураций маркеров, анимации в режиме реального времени в виртуальной сцене, запись движений для кинематического анализа, а также в режиме реального времени отображения движение на роботизированную руку. Из-за произвола в выборе кинематической модели humanhand и неточностью ofmotionmapping на роботизированной руке, так как под приведение в действие не допускает 1: совместное отображение 1, результаты процесса были оценены качественной точки зрения эксплугируя исследования манипуляции на человека handwell знаю в литературе [50]. Помимо оценки результатов, эти исследования представляют собой одну из цели для будущей работы. Вычисление манипуляции синергии было выполнено с использованием анализа главных компонент по приобретенному движению различных предметов во время свинчивания чашки в соответствии различных ориентаций ладони по отношению к оси симметрии бутылки. Два представителя движения были проецируется в подпространстве первых трех синергии и хронологических их коэффициентов

Стр. представлены в Рис. 14 а также 15, Тенденция о синусоидальных коэффициентах и зависимость от синусоидальной волны

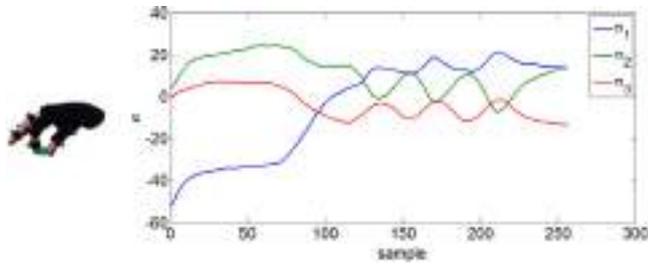


Рис. 14. Коэффициент синергизма задачи завинчивания. y -ось ладони образует угол 90 градусов по отношению к оси симметрии бутылки.

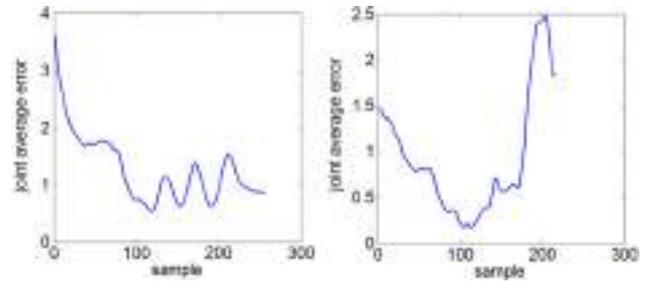


Рис. 17. Среднее значение ошибки суставов для воспроизводимого движения в подпространстве синергизма. Два различные ориентации y -ось ладони по отношению к оси симметрии бутылки, углы соответственно равны 90 и 45 градусов.

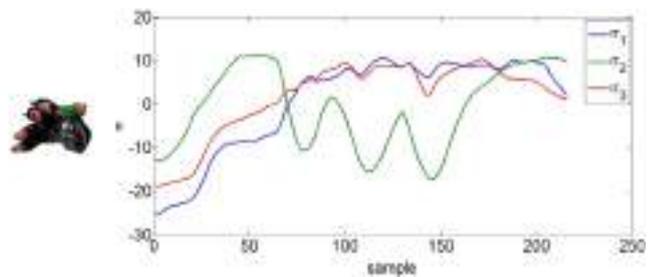


Рис. 15. Коэффициент синергизма задачи завинчивания. y -ось ладони образует угол в 45 градусов по отношению к оси симметрии бутылки.

8. Выводы и будущая работа

Развитое дистанционная обработка управления с помощью маркеров на основе отслеживания движения руки человека, показало его значение оказывается хорошо подходит для изучения движения руки человека даже во время выполнения задач манипулирования и передать движение в реальное время антропоморфного под приводится в действие вручную. Это исследование представляет собой попытку обеспечить amethod для исследований humanhandmotion ориентированных на контроль роботизированных рук на основе алгоритмов био-вдохновил. Дальнейшее развитие будет сосредоточено на изучении взаимодействия рук человека для различных задач манипуляции должны быть воспроизведено на Schunk S5FH и оптимизации настроенный для более подходящего расположения камер, чтобы обеспечить отслеживание движения в меньшем рабочем объеме и свести к минимуму закупки проблемы.

ориентация ладони подтверждается исследованиями в [51]. Так вычисляться синергического движение было воспроизведено на роботизированную руку, и результаты представлены в Рис. 16 для ориентации Рис. 14 , Что касается преобразованного движения исполнения в подпространстве синергического выполняются с суставами средней ошибки, изображенными на Рис. 17 ,

Подтверждение

Это исследование было профинансировано в рамках проекта ЕС Седьмая рамочная программа (FP7) RoDyMan 320992.



Рис. 16. SCHUNK S5FH завинчивание чашки.

Рекомендации

- [1] X. Zhang, C. Ли, П. Braido, определяя палец сегментные центров вращения в сгибании-расширениях на основе измерения поверхностных маркеров, *J. Biomech.* 36 (2003) 1097-1102.
- [2] VJ Сантос, FJ Valero-Cuevas, Сообщил анатомический изменчивость естественным образом приводит томultimodal распределения параметров Denavit-Хартенберг для человеческого пальца, *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 53 (2) (2006) 155-163.
- [3] П. Braido, X. Zhang, Количественный анализ координации fingermotion InHand манипулятивных и gestic актов, *Hum. Mov. Sci.* 22 (2004) 661-678.
- [4] П. ван дер Smagt, М. Гребенштайн, Х. Урбанек, Н. Fligge, М. Strohmayer, Г. Stillfried, Дж. Парриш, А. Gustus, робототехника человеческих движений, *J. Physiol. Париж* 103 (3-5) (2009) 119-132.
- [5] P. Shadmehr, C. Мусс-Ивальди, Биологическое обучение и контроль: Как мозг Строит Представления, предсказывает События, andMakes Решение, MIT Press, 2012.
- [6] CD-Сантина, Г. Grioli, М. Каталано, А. Брандо, А. Bicchi1, сноровка augmen- тации на синергическую сторону: Пизанский / ИИТ sofhand + в IEEE-RAS 15 Между- народного конференции по человекоподобным роботам, Сеул, Корея, 2015, стр. 497-503. [7] Г. Palli, Г. Borghesan, C. Melchiorri, Моделирование, идентификация и контроль сухожильных на основе приводных систем, *IEEE Trans. Robot.* 27 (3) (2011) 1-14.
- [8] Г. Berselli, Г. Borghesan, М. Бранди, С. Melchiorri, С. Натале, Г. Palli, С. Пироцци, Г. Vassura, интегрированный мехатронный дизайн для нового поколения роботизированных рук, в: МФБ симпозиуме по контролю роботов, Гифу, Япония, 2009. [9] Ф. Fucicciello, Г. Palli, С. Melchiorri, Б. Siciliano, планирование и управление во время Привлекайте к Возьмитесь используя три преобладающих UB рук IV постуральной синергия в: IEEE Международная конференция по робототехнике и автоматизации, Сент-Пол, штат Миннесота, США, 2012, стр. 357-362.
- [10] M. Gabbicini, A. Bicchi, О роли ручных синергии в оптимальном выборе схватив силы, в: Proc. робототехники: наука и систем, Сарагоса, 2010. [11] Г. Палли, Ф. Fucicciello, Y. Scarcia, С. Melchiorri, Б. Siciliano, экспериментальной оценки синергии на основе In-Hand Манипуляции в: МФБ World Congress, Кейптаун, Южная Африка, 2014, стр. 299-304. [12] П. Cerveri, Н. Loromo, А. Pedotti, Г. Ферриньо, Выведение центров и осей вращения для запястья и пальцев в руке кинематической модели: методы и результаты надежности, *Ann. Biomed. Eng.* 33 (3) (2005) 402-412.
- [13] Н. А. Бейжер, Р. Чам, ЕН Cidbow, Кинематика пальцев и рук во время использования клавиатуры компьютера, *Clin. Biomech.* 22 (1) (2007) 34-43.
- [14] Ж. Lukos, С. Ansuini, М. Santello, выбор контактных точек во многоразрядных хватания: эффект предсказуемости объекта центра масс местоположения, *J. Neurosci.* 27 (2007) 3894-3903.
- [15] МН Шибер, М. Santello, функции рук: периферийные и центральные ограничения на производительность, *J. Appl. Phys.* 96 (2004) 2293-2300.
- [16] CR Мейсон, JE Гомес, TJ Эбнер, Ручной синергизм во время выдвигения к схватыванию, *Дж Neurophysiol.* 86 (6) (2001) 2896-2910.
- [17] Н. Karnati, Б. Кент, Е. Engeberg, Backdrivable периодического сустава палец синергизм: Человеческое наблюдение применительно к ловким robotic стороны, в: IEEE Int. Conf. Робототехника и Biomimetics, остров Пхукет, Таиланд, 2011. [18] М. Santello, М. Фландрия, J. Soechting, Постуральная рука синергизм для использования инструмента, *J. Neurosci.* 18 (23) (1998) 10105-110115.
- [19] Г. Palli, С. Melchiorri, Г. Vassura, Y. Scarcia, П. Morielo, Г. Berselli, А. Кавалло, GD Мария, С. Натале, С. Pirozzi, С. мая, Ф. Fucicciello, Б. Siciliano, The dextrart рука: мехатронный дизайн и экспериментальная оценка синергии на основе управления для человеческого типа хватания, *Int. J. Robot. Местожительство* 33 (2014) 799-824.
- [20] Дж Ромеро, Т. Feix, Х. Kjellström, Д. Kragic, пространственно-временное моделирование хватательные действия, в: IEEE / RSJ Int. Conf. на интеллектуальных роботов и систем, Тайбэй, Тайвань, 2010, стр. 2103-2108.
- [21] М. Таваколи, А. де Алмейда, Поворотный под приводом антропоморфную руки: ISR-sofhand в: IEEE / RSJ Int. Conf. на интеллектуальных роботов и систем, Чикаго, Иллинойс, США, 2014, стр. 1629-1634.
- [22] П. Kontoudis, М. Liarakapis, А. Zisimatos, С. Mavrogiannis, К. Кириакопулос, С открытым исходным кодом, антропоморфные, underactuated робот руки с выборочно запирающийся дифференциальным механизмом: на пути к доступным протезам, в: IEEE / RSJ Int. Conf. на интеллектуальных роботов и систем, Гамбург, Германия, 2015, стр. 5857-5862. [23] П. Buttolo, Д. кунг, Б. Ханнафорд, Манипулирование в реальных, виртуальных и удаленных средах, в: Int. Conf. по системам, Человек и кибернетике, Ванкувер, Британская Колумбия, Канада, 1995, стр. 4656-4661.
- [24] MJ Massimono, ТВ Шеридан, производительность Телеоператор с различной силой и визуальной обратной связи, *Hum. Факторы*, 36 (1) (1994) 145-157.
- [25] У. Гриффин, Р. Финдли, М. Тернер, М. Cutkosky, калибровка и отображение множества А человеческая рука для ловкого telemanipulation, в: ASME IMECE Symp. onHaptic Интерфейсы для виртуальных сред и Телеоператор Systems, 2000. [26] SCHUNK 5-Finger Hand: <http://mobile.schunk-microsite.com/en/products/Produkte/Servoэлектрический-5-пальцев захвата рукой-svh.html>.
- [27] Ф. Fucicciello, Г. Palli, С. Melchiorri, Б. Сицилиано-d, Постуральной синергизм УБ рука IV человеческого типа хватания, *Robot. Auton. Сист.* 62 (2014) 357-362.
- [28] М. Гребенштайн, М. Чалон, Г. Herzinger, Р. Siegart, Слособ стороны кинематика дизайнеров, в: 1 Int. Conf. по прикладной бионики и биомеханики, Венеция, Италия, 2010.
- [29] И. Karandji, физиология суставов: верхние конечности, Churchill Livingstone, т. 1 (2007).
- [30] Д. Drenckhahn, А. Benninghoff, Anatomie: Makroskopische Anatomie, Embry- ologie Und Histologie De Menschen, Городские & Fischer Verlag / Эльзевир ГМБХ, 1994.
- [31] З. Ли, Дж Тан, координация накатанных суставов во время противостояния, *J. Biomech.* 40 (2007).
- [32] Д. Guirintano, А. Холлистер, Вт. Буфорд, Д. Томпсон, Л. Майерс, Avirtual пятирычажная модель большого пальца, *Med. Eng. Phys.* 17 (4) (1995) 297-303.
- [33] П. Cerveri, Е. Де Мони, Н. Loromo, Г. Бод-Vovy, Р. М. Баррос, Г. Ферриньо, Палец кинематическая моделирование и оценка движения руки в реальном масштабе времени, *Annali Biomed. Eng.* 35 (2007) 1989-2002.
- [34] Ф. Fucicciello, Г. Palli, С. Melchiorri, Б. Сицилиано, картирование схватывает FROMTHE человеческой руки с dextrart стороны, с помощью постуральной синергии и видения, в: (ред.) О. Хатиб, В. Кумар, Г. Sukhatme, Springer Трактс в Advanced Robotics (STAR), в экспериментальной: робототехнике, вып. 88, Springer, 2012, стр. 515-529.
- [35] В. Frati, Д. Praticchizzo, используя Kinect для отслеживания руки и рендеринга в носимых тактильные, в: IEEE Всемирной конференции Haptics, Стамбул, 2011 г. [36] Ди-джей Стурман, Д. Зелцер, Обзор перчаток на основе входных данных, *IEEE вычи. График. Appl.* 14 (1) (1994) 30-39.
- [37] А. Эрол, Г. Bebis, М. Nicolescu, Р. Бойль, Х. Twombly, видение на основе руки ставят оценки: обзор, вычи. Видимый Изображение Underst. 108 (2007) 52-73.
- [38] И. Okonomidis, Н. Kyriazis, А. Argyros, полные степени свободы отслеживания руки взаимодействующего с объектом путем моделирования окклюзий и физические ограничений, в: 13 In- дународной конференции по Computer Vision, Барселона, 2011, стр. 1260-1264. [39] С. Лиен, С. Хуан, модель на основе шарнирного движения рук отслеживания для распознавания жестов, изображений Висло. *Вычи.* 16 (2) (1998) 121-134.
- [40] Г-н де Ла Горсе, Н. Paragios, Д. флота, на основе модели рука слежения с текстурой, затенение и самостоятельной окклюзий, в: IEEE конференции по компьютерного зрения и распознавания образов, Анкоридж, Аляска, 2008, стр. 1-8.
- [41] Б. Стенгер, ССБ Mendoza, Р. Киполл, модель на основе 3D отслеживания сочлененного рука, в: IEEE конференции по компьютерного зрения и распознавания образов, Лос Alamitos, Калифорния, США, 2001, стр. 310-315. [42] Б. Стенгер, А. Thayananthan, PHS Torp, Р. Киполл, Модель на основе отслеживаний вручную с использованием иерархического байесовского фильтра, *IEEE Trans. PatternAnal. Max. Интелл.* 28 (9) (2006) 1372-1384. 252009.
- [43] Л. Цуй, У. Cupcis, И. С. Дан, Оптимизация подход к teleoperation большого пальца человекоподобного работа стороны: kinematicmapping и калибровки, *J. Mech. Des.* 136 (9) (2014).
- [44] П. Falco, Г. Де Мария, С. Натале, С. Pirozzi, слияние данных на основе оптической развитой технологии наблюдение человеческих манипуляций, *Int. J. Optomechatronics* 6 (1) (2012) 37-70.
- [45] NaturalPoint, Inc АБД OptiTrack: <http://www.optitrack.com/>, [46] DJ Стурман, Whole Hand Input (Диссертация на), Массачусетский технологический институт, 1992.
- [47] E. Holden, визуальное распознавание рук Motion (кандидатская диссертация), Университет Западной Австралии, 1997.
- [48] А. Cereatti, Y. Della Croce, А. Carrozzo, Реконструкция скелетного движения с использованием маркеров кожи: сравнительной оценкой костной ткани представляет оценки, *J. NEU- roEng. Rehabil.* 3 (7) (2006).
- [49] LY Чанг, Н. Поллард, Метод определения кинематических параметров в естественных условиях большого пальца carpometacarpal сустава, *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 55 (1) (2008) 1897-1906.
- [50] Б. А. Кент, З. Kakish, Н. Karnati, Е. Д. Engeberg, Адаптивное управление синергия локвая искусственная рука с помощью распознавания лица ЗМГА открыть и привитить объекты в нескольких направлениях, в: Int. Conf. по робототехнике и автоматизации, Гонконг, Китай, 2014 г. [51] Б. Кент, Н. Karnati, Е. Д. Engeberg, Электромиограмма синергизм контроль локвой искусственной руки, чтобы отвинтить и screwobjects, *J. из NeuroEngineering и реабилитации* 11 (41) (2014) 1-20.



Илария Cerullo родился в Беневенто, Италия, 25 августа, 1989. Она получила степень бакалавра в области информационных технологий инженерии Университета Sannio. Интерес к робототехнике и автоматизации привел ее для участия в степени магистра в области техники автоматизации в University Neapolis. В частности, она сосредоточилась на системах робототехники и управления: два из наиболее важных научных проектов, в которых она была вовлечена является «Моделирование, планирование помощи и контроль за SCARManipulator» и «Электронного контроля устойчивости автомобиля при прохождении поворотов с изменением угол поворота рулевого колеса». Она получила степень магистра

в сентябре 2015 года с тезисом названием «Telematipulation в Schunk S5FH с использованием человеческой руки отслеживания движения» сосредоточены на разработке дистанционного управления обработкой антропоморфного работа стороны, SCHUNK S5FH, используя theOptiTrack

Motion Capture System. На самом деле она используется в качестве консультанта в Ferrari SpA в Gran Turismo отделе в качестве системной интеграции и тестирования инженера.



Фанни Ficuciello родился в Nocera Inferiore, Италия, 20 октября 1974 г. Она получила Laurea степень с отличием в области машиностроения из Уни- City Неаполя Федерико II в 2007 году она получила степень доктора философии степень в области компьютерных и автоматизации инженерии в университете Неаполя Федерико II в ноябре 2010 г. С сентября по март 2010 года она была приглашенным ученым в инженерной группе управления в университете Твенте (Нидерланды) под руководством проф Ste- Fano Stramigioli. Она является членом PRISMA (проекты промышленной и сервисной робототехники, мехатроники и автоматизированным

Тион) исследовательская группа. В настоящее время она держит позицию аспирантские на Уни- City Неаполя Федерико II. Ее исследовательская деятельность сосредоточена на робототехнике, в частности, на безопасное физическое взаимодействие между человеком и роботом, сила / контроль импеданса, захватывая и контроля манипуляции антропоморфных систем ручного рычага. Она опубликовала более 20 журналов и документов конференций и глава книги.



Винченцо Lippiello родился в Неаполе, Италия, в июне 19, 1975. Он получил степень Laurea в области электронной техники и степени Исследования докторантуры в ин- формацию инженерии из Университета Неаполя, в 2000 и 2004 годах, соответственно. Он является помощником профес- сор автоматического управления в Департаменте ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ инженерии и информационных технологий, Уни- City Неаполя. Его научные интересы включают в себя визуальный Ser-voing роботизированных манипуляторов, гибридный контроль визуальное / сила, адаптивное управление, захватывая и манипуляцию, воздушную робототехнику, роботизированную мяч ловить, и визуальный объект track-

ING и реконструкции. Он опубликовал более 90 журналов и документов конференций и глава книги. Он является членом Технического комитета МФБ по робототехнике.



Бруно Siciliano родился в Неаполе, Италия, октябрь 27, 1959. Он получил степень доктора в электронной инженерии в университете Неаполя, Италия, в 1987 году профессор управления и робототехники в Департаменте электротехники и информационных технологий в университете Неаполя Федерико II, где он является директором из Icaros центра и Призма Lab. Его исследование сосредоточено на методологии и технологии в промышленности и услуги робототехники, включая силы и визуальный контроль, кооперативные робот, взаимодействие людей-робот, и aerialmanipulation. Он является соавтором 6 книг и более 300 журнала ра-

чала, документы конференций и книжные главы. Он поставил более 20 основных докладов и более 100 коллоквиумов и семинаров в учреждениях по всему миру. Он является членом IEEE, ASME и МФБ. Он соредактор из Springer урочища Расширенных серий Robotics (STAR) и Springer Справочник по робототехнике, который получил награду за выдающиеся достижения прозы в физических науках и математике, о том и был также победитель в категории Engineering & Technology. Он работал в редколлегии престижных журналов, а также председатель или сопредседатель для многочисленных международных конференций. Профессор Siciliano является экс-президент по IEEE Robotics и автоматизации общества (RAS). Он был удостоен нескольких наград.