УПРАВЛЕНИЕ ПЯТИПАЛЬЦЕВОЙ КИСТЬЮ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ КАРТЫ ДВИЖЕНИЯ

ANTHROPOMORPHIC ROBOT FIVE-FINGER BRUSH CONTROL BASED ON MOTION MAP

Гао Тяньцы, магистрант, МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Gao Tianqi, gaotianci0088@gmail.com

Аннотация

В этой статье конструируется механизм сопоставления, основанный на перемещении киберперчатки для управления пятипальцевой кистью антропоморфного робота. Целью исследования является сопоставление действия человеческой руки с пятипальцевой кистью антропоморфного робота через киберперчатку, чтобы робот мог выполнять интуитивные и естественные жесты и хватательные действия, тем самым улучшая работу гуманоидного манипулятора. Эксперименты подтверждают, что прямое отображение углов суставов и отображение положения кончиков пальцев может управлять пятипальцевой кистью для достижения соответствующей позы, что доказывает правильность и практичность системы управления пятипальцевой кистью антропоморфного робота, основанной на картировании движения.

Annotation

This article constructs a matching mechanism based on the movement of an information glove to control the five-finger hand of an anthropomorphic robot. The goal is to match the action of a human hand with the five-finger hand of an anthropomorphic robot through an information glove, so that the robot can perform intuitive and natural gestures and grasping actions. , thereby improving the

functioning of the humanoid manipulator. Experiments confirm that the direct display of joint angles and display of the position of the fingertips can control the five-finger hand to achieve the appropriate posture, which proves the correctness and practicality of the motion mapping-based five-finger control system of the anthropomorphic robot.

Ключевые слова: отображение движения; киберперчатка; пятипальцевая кисть антропоморфного робота

Keywords: display of movement; information glove; anthropomorphic robot five-finger brush

В аэрокосмической отрасли, подводных операциях, атомной промышленности, сельскохозяйственном производстве и других сложных и неопределенных или недоступных операционных средах в настоящее время для роботов нереально выполнять различные задачи полностью автономно из-за ограничений текущего уровня робототехнических технологий. Операторам часто требуется управлять роботом посредством необходимого мониторинга и дистанционного управления, с помощью графического моделирования и использования оборудования дистанционного управления (манипулятора дистанционного управления, киберперчаток, стереоочков и т. д.). Основная функция киберперчатки - помочь оператору дистанционно управлять движением робота и ловкостью его руки с несколькими пальцами на основе информации визуальной обратной связи для достижения цели -выполнения определенной задачи. Таким образом, можно проявить автономную способность роботов принимать решения, а также задействовать человеческий интеллект и ключевые функции по принятию решений, так что человеко-машинный интеллект может быть органично смешан с IU.

Человек при помощи киберперчатки может управлять движением ловкого манипулятора напрямую, вместо того, чтобы посылать инструкции для управления манипулятором с помощью компьютера; поскольку операция

проста и интуитивно понятна - это значительно улучшает взаимодействие между человеком и ловкой рукой.

Захват движения относится к технологии сбора позы движения человеческого тела в трехмерном пространстве и преобразования ее в цифровые сигналы. В 1973 году известный психолог Йоханссон впервые обнаружил обнаружение биологического движения при помощи своего эксперимента «Движущийся световой дисплей» (MLD), и с тех пор технология захвата движения продолжает развиваться. Эта основная система захвата движения включает в себя оптические, инерционные датчики на основе электромагнитных, механических, акустических и видеопоследовательностей.

В связи с тем, что датчики ориентации обладают преимуществами высокой интеграции, низкого энергопотребления, низкой стоимости и отсутствия ограничений окружающей среды, система захвата движения, по мере развития технологии микродатчиков ориентации, определяемой при помощи датчиков, стала крайне популярным объектом исследования. Основой является использование датчиков. Физическая характеристика определяет положение датчика в пространстве, в котором он расположен. Обычно данные нескольких датчиков объединяются, чтобы устранить ошибку измерения одного датчика. По сравнению с другими системами захвата движения, системы захвата движения, основанные на датчиках ориентации, проще в разработке, поэтому они широко используются в интеллектуальном оборудовании и носимых устройствах повседневной жизни.

Благодаря популяризации приложений для роботов вы можете использовать роботов для замены людей, чтобы вводить или выполнять задачи, вредные для человеческого организма.

Эта температура использует информационные перчатки в качестве устройства ввода для сопоставления движений рук человека с информацией о движении манипулятора и управления движением гуманоидного манипулятора в реальном времени в виртуальной среде, когда движение смоделированной

виртуальной руки контролируется в реальном времени, включая жестовое управление манипулятором и захват объекта.

1. **Состав системы.**

На рисунке 1 представлен базовый состав системы управления манипулятором-гуманоидом, основным элементом которого является киберперчатка. Оператор надевает киберперчатку для выполнения различных действий, компьютер ПК считывает информацию с суставного датчика информационной перчатки и использует управляющее программное обеспечение для сопоставления информации о состоянии датчика с угловым положением суставов пальцев руки человека, которая передается через последовательный порт в качестве управляющего параметра. После обработки компьютер отправляет соответствующие управляющие команды, чтобы заставить робот совершать соответствующие действия. В то же время он регистрирует данные датчика давления и датчика угла руки гуманоида, чтобы палец гуманоида мог получить ожидаемое состояние управления.

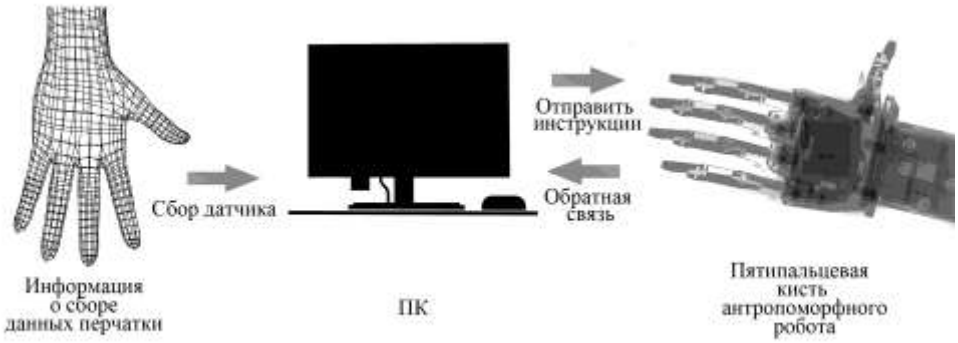

Рис. 1. Состав системы и экспериментальная платформа

Ключевой проблемой для точного преобразования движения человеческой руки в движение робота является решение взаимосвязи отображения движения человеческой руки и гуманоидного манипулятора. В настоящее время обычно используемые методы картирования включают в себя прямое картирование углов суставов и отображение положения кончиков

пальцев. Отображение положения кончиков пальцев используется для точного захвата, а необходимые данные получаются с помощью прямой кинематики руки человека и обратной кинематики гуманоидного манипулятора; прямое отображение угла сустава предназначено для непосредственного сопоставления данных суставов, измеренных данными перчатки к антропоморфному роботу. Реализация относительно проста, но точность невысока. В этой статье будет использоваться прямое отображение угла сустава и отображение положения кончика пальца, чтобы реализовать управление жестами и управление захватом объекта антропоморфного робота, соответственно, и использовать встроенный датчик угла и датчик давления манипулятора для контроля состояния манипулятора в режиме реального времени. Датчик давления представляет собой резистор, чувствительный к силе (FSR), прикрепленный к поверхности пальца. После калибровки датчика давления его можно использовать для измерения силы на кончике пальца.

Киберперчатка. В этой работе используется Data Glove 5 компании 5DT, как показано на рисунке 2. Информационная перчатка оснащена 14 датчиками. Датчик в основании и среднем суставе каждого пальца для проверки кривизны первого и второго суставов; датчик между двумя соседними пальцами. Используется для измерения угла разгибания между двумя соседними пальцами.

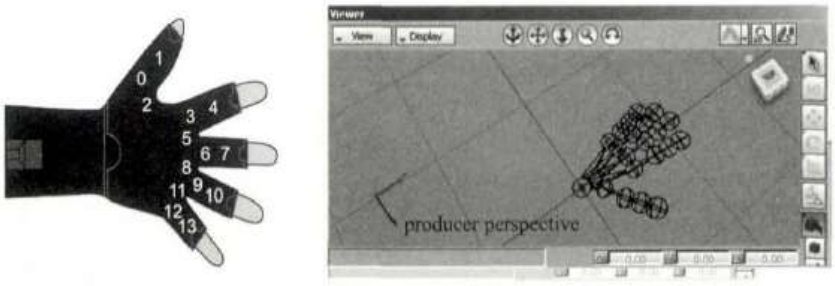

Рис. 2. Информационные перчатки и распределение датчиков

Базовая модель отображения данных пальца (см. Рисунок 3). Данные каждого датчика информационной перчатки соответствуют каждой точке соединения.

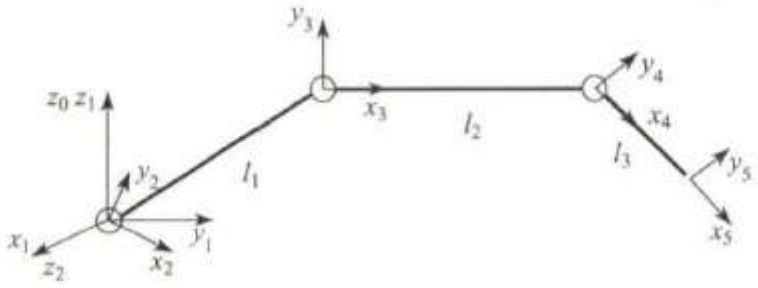

Рис. 3. Система координат модели с одним пальцем робота

По полученным данным может быть сгенерирована трехмерная модель, похожая на человеческую руку. После того, как соединение выбрано, информация о состоянии перчатки передается обратно на компьютер в режиме реального времени. После того, как AutoDesk Motion Builder получит информацию о данных, он отобразит информацию о данных в 3D-модель пальца в соответствии с предварительной конфигурацией, и модель пальца будет меняться в реальном времени в соответствии с данными отображения перчатки данных. Когда информационная перчатка находится в положении «ОК», трехмерная модель пальца также выполняет то же действие, показывая текущее положение киберперчатки в реальном времени.

Пятипальцевая кисть антропоморфного робота. Пятипальцевая кисть антропоморфного робота имитирует структуру руки человека: каждый палец имеет 3 сустава, среди которых есть еще один сустав большого пальца, то есть сустав, изгибающийся к ладони, всего с 16 степенями свободы. Манипулятор работает в пониженном режиме, управляемом 5 двигателями постоянного тока и рулевым механизмом. Двигатель постоянного тока тянет веревку из сухожилия, чтобы контролировать изгиб и разгибание каждого пальца, а сервопривод используется для управления вращением большого пальца к ладони. Каждый сустав оснащен датчиком давления для проверки внешней силы, которую манипулятор воспринимает при захвате объекта. Главный компьютер ПК отправляет команды управления роботу через последовательный порт Bluetooth и получает информацию обратной связи от

датчиков манипулятора. робот имеет два режима управления: ①Режим положения, главный компьютер отправляет целевой угол каждому пальцу, и робот перемещается в соответствующее положение в соответствии с полученным значением угла; ②Режим нажатия, датчик давления устанавливается на кончике пальца. для управления пальцем Размер силы при извлечении. Компьютер верхнего уровня отправляет управляющую информацию на робот в соответствии с фактической требуемой силой захвата, а робот управляет петлей в соответствии с внутренним давлением для достижения точного управления силой.

2. Отображение движения на основе данных перчаток.

Уравнение кинематики руки человека. По движению пальцев руки человека его можно разделить на два разных типа. С кинематической точки зрения кинематика четырех пальцев, за исключением большого пальца, очень похожа, в то время как большой палец немного отличается. Согласно прямой кинематике робота, матрица преобразования D-H (Денавита-Хартенберга) может использоваться для получения уравнений прямой кинематики пальцев руки человека. Параметры D-H для четырех пальцев, за исключением большого пальца, перечислены в таблице 1, а система координат модели для одного пальца показана на рисунке 3. Соответствующая матрица преобразования выглядит следующим образом:

$$
{}^{0}_{1}T = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & 0 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad {}^{1}_{2}T = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta_2 & -\cos\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},
$$

$$
{}^{2}_{3}T = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & l_1 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad {}^{3}_{4}T = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & -\sin\theta_4 & 0 & l_2 \\ \sin\theta_4 & \cos\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},
$$

$$
{}^{4}_{5}T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
$$

доступное положение кончика пальца:

$$ {}^{0}_{5}T = {}^{0}_{1}T^{1}_{2}T^{2}_{3}T^{3}_{4}T^{4}_{5}T $$

который:

$$ \begin{aligned} x =& l_1 \cos\theta_1 \cos\theta_2 + l_2 \cos\theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) \\ &+ l_3 \cos\theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \end{aligned} \tag{1} $$

$$ \begin{aligned} y =& l_1 \cos\theta_2 \sin\theta_1 + l_3 \sin\theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \\ &+ l_2 \sin\theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) \end{aligned} \tag{2} $$

$$ \begin{aligned} z =& -l_1 \sin\theta_1 - l_2 \sin(\theta_2 + \theta_3) \cos\theta_2 \\ &- l_3 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \end{aligned} \tag{3} $$

Поскольку движение между дистальной фалангой и проксимальной фалангой руки человека сопряжено, коэффициент связи равен 1,5, то есть $\theta_4 = 1{,}5\theta_3$, что можно упростить формулой (1)~(3).

Таблица 1 Параметры D-H пальца робота

i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	0	θ_1
2	-90°	0	0	θ_2
3	0	l_1	0	θ_3
4	0	l_2	0	θ_4
5	0	l_3	0	0

Хотя структура большого пальца отличается от других четырех пальцев, метод определения уравнения поступательного движения такой же, и процесс определения положения кончика пальца для решения положительной кинематики также такой же.

Отображение движения от информационной перчатки к роботу. При использовании информационной перчатки для управления манипулятором необходимо зафиксировать угол поворота каждого сустава руки человека с помощью датчиков и сопоставить его с гуманоидным манипулятором. Метод отображения может быть реализован по-разному. В этой работе в основном

используются два метода: прямое сопоставление углов суставов и сопоставление положения кончиков пальцев. Чтобы применить информационную перчатку к реальному эксперименту по захвату объекта, также вводится корректирующий метод сопоставления кончиков пальцев. В эксперименте с захватом угол сопоставляется с давлением.

Отображение прямого угла сустава. Очевидно, что пятипальцевая кисть антропоморфного робота не является ловкой при жестах или хватании предметов. Согласно вышеприведенному обсуждению, манипулятор имеет 16 степеней свободы, и прямое взаимно-однозначное сопоставление невозможно. Определение некоторых датчиков является избыточным, а данные других датчиков будут напрямую использоваться для совместного управления роботом.

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}_{16\times 14} \tag{4}$$

В формуле M - матрица отображения, а угол отображения равен:

$$\theta_{\text{output}} = M\theta_{\text{input}} \tag{5}$$

Угол отображения выводится как управляющий сигнал для управления движением пальцев манипулятора, похожего на человека, и реализации движения, синхронизированного с человеческой рукой в той же позе.

Отображение местоположения кончика пальца. Когда человекоподобный манипулятор используется для точного захвата объекта, обычно используется метод отображения положения кончиков пальцев. Угол сочленения информационной перчатки рассчитывается с помощью алгоритма прямой кинематики руки человека. Положение кончика пальца получается с помощью алгоритма обратной кинематики пальца манипулятора. Углы суставов 4-х пальцев, кроме большого пальца, можно получить следующими способами:

$$\theta_1 = a\tan(2(y, x)) \tag{6}$$

$$\theta_2 = a\tan(2(-z, X)) - a\tan(2(k_2, k_1)) \tag{7}$$

который:

$$k_1 = l_1 + l_3\cos\left(\frac{5}{3}\theta_3\right) + l_2\cos\theta_3 \tag{8}$$

$$k_2 = l_3\sin\left(\frac{5}{2}\theta_3\right) + l_2\sin\theta_3 \tag{9}$$

предполагаем, что:

$$r = \sqrt{k_1^2 + k_2^2}$$
$$\delta = a\tan(2(k_2, k_1))$$

тогда:

$$k_1 = r\cos\delta$$
$$k_2 = r\sin\delta$$

согласно (7),

$$X = r\cos\delta\cos\theta_2 - r\sin\delta\sin\theta_2$$

есть:

$$\begin{aligned}\theta_3 =& 32l_1l_3(\cos\varphi)^5 + (8l_2l_3 - 40l_1l_3)(\cos\varphi)^3 \\ &+ 4l_1l_2(\cos\varphi)^2 + (10l_1l_3 - 6l_2l_3)\cos\varphi \\ &+ \left(l_1^2 + l_2^2 + l_3^2 - x^2 - y^2 - z^2\right) - 2l_1l_2\end{aligned} \tag{10}$$

где: $\varphi = \theta_3/2$

Этим же методом можно рассчитать суставной угол большого пальца. Эти значения углов сочленения передаются контроллеру для управления положением манипулятора.

3. Эксперимент и анализ.

В эксперименте оператор носит калиброванную перчатку данных для взаимодействия с трехмерной виртуальной моделью руки и гуманоидным

манипулятором (Рисунок 1). Данные движения руки человека используются для управления виртуальной моделью руки и гуманоидным манипулятором. для сравнения сходства движений. Система может не только интуитивно и быстро проверять алгоритм отображения движения, но и проверять рациональность конструкции механизма движения гуманоидного манипулятора.

Чтобы проверить эффективность управления киберперчаткой при движении гуманоидного манипулятора, в этом эксперименте были разработаны два типа действий, следование жесту и захвату объекта, а также проверена точность методов прямого картирования угла сустава и отображения положения кончиков пальцев. Наконец, в соответствии с фактическими потребностями в захвате. Проведите эксперимент с петлей давления.

Совместное угловое прямое картирование эксперимента. Из-за различий в размере рук разных операторов данные, генерируемые при использовании киберперчаток, будут разными, поэтому перчатка для данных должна быть откалибрована перед использованием.

Каждый суставной датчик информационной перчатки использует 12-битную аналого-цифровую выборку, а наименьший динамический диапазон составляет 8 бит, поэтому необработанное значение датчика, собираемое каждым суставом, составляет 0 ~ 4095. Если вы напрямую используете необработанные данные для отображения углов, это очевидно неосуществимо. Есть два способа обработки данных: один – напрямую сопоставить значение датчика с углом, т. е.:

$$A_o = \frac{r_{\text{val}} - r_{\text{min}}}{r_{\text{max}} - r_{\text{min}}} A_{\text{range}} \tag{11}$$

В формуле, r - значение датчика киберперчатки, r_{val}, r_{min} и r_{max} - значение сбора данных датчика, минимальное и максимальное значение соответственно, а человеческий A_{range} - диапазон угла движения руки; второй - косвенное отображение данных. Перчатка и манипулятор на стандартное значение одновременно, метод тот же, что и выше. После

сопоставления их диапазон составляет [0,1]. После завершения сопоставления манипулятор получает текущий угол с помощью операции инверсии.

Когда киберперчатка делает обычные жесты, такие как «ОК» (указательный и большой пальцы образуют круг, а остальные три пальца выпрямлены), манипулятор и рука с динамической трехмерной моделью выполняют соответствующие действия. По сравнению между выходным значением информационной перчатки и значением обратной связи датчика угла гуманоидного манипулятора можно увидеть, что эффект управления системой хороший. После серии тестов результаты показывают, что каждый палец может гибко следовать за перчаткой данных для выполнения любых действий. Хотя скорость отклика манипулятора может соответствовать движению руки человека в нормальном ритме, если киберперчатка перемещается слишком быстро, соответствующее действие манипулятора будет отложено.

Чтобы точно проанализировать динамические характеристики процесса картирования, измеряются и записываются значение угла ввода данных перчатки и значение отклика манипулятора слежения за углом. Метод непрямого сопоставления используется для преобразования этих двух значений в значение между 0 и 1. Кривая процесса показана на рисунке. Задержка и статическая разница робота в процессе реакции очень мала. Динамические и статические процессы могут соответствовать потребностям использования. Отношение отображения большого пальца немного сложнее. Есть еще одна степень свободы в направлении, перпендикулярном к пальцу. Угловое разложение требуется при следующем. Видно, что есть отклонение в следующей кривой. На рисунке действие 3 ~ 9 с - это жест "1", а действие 9 ~ 15 с - жест "ОК". Когда картируется угол сочленения, манипулятор обычно принимает режим управления углом: в это время значение давления является наблюдаемым значением, а значение угла - контролируемым значением.

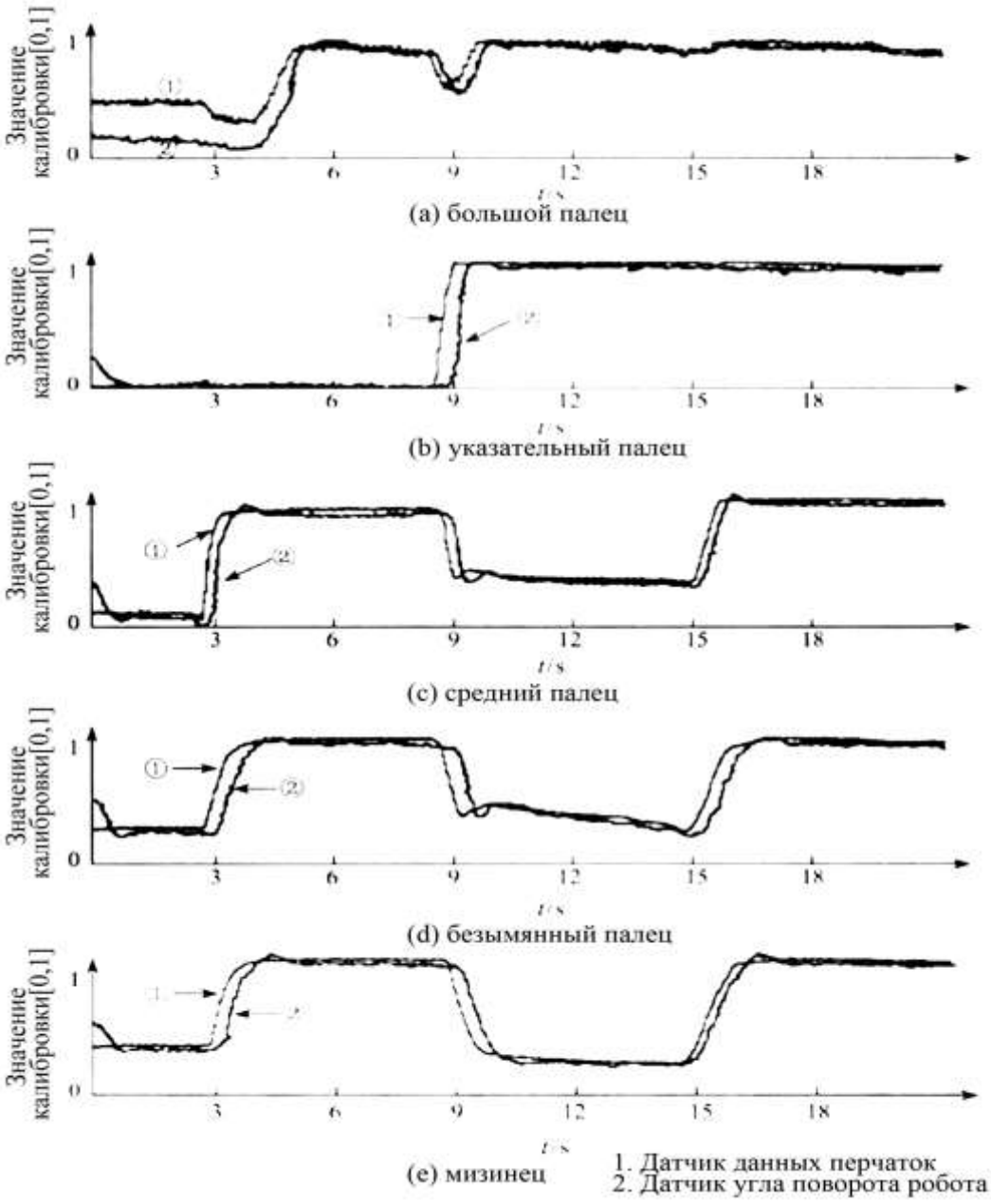

Рис. 4. Ввод данных в перчатке и реакция робота

Вышеупомянутые эксперименты подтверждают, что метод прямого картирования угла сустава, основанный на информационной перчатке, имеет хорошие рабочие характеристики для управления жестами гуманоидного манипулятора.

Эксперимент по картированию положения кончиков пальцев. При точном захвате обычно выбирается отображение положения кончиков пальцев. При захвате объект и палец в основном соприкасаются с кончиками пальцев, в основном для манипулирования объектом или регулировки положения объекта. Картирование кончиков пальцев отображает относительное положение кончиков пальцев человека относительно манипулятора-гуманоида в сочетании со значениями обратной связи датчика угла и датчика давления, встроенного в манипулятор-гуманоид, и управляет манипулятором-гуманоидом для точного захвата объекта составляет:

$$\theta_{\mathrm{h}} = K_{\theta}\theta_{\mathrm{glove}} \tag{12}$$

В формуле θ_h - фактическое положение манипулятора, θ_{glove}- значение угла суставов пальцев, полученное перчаткой для обработки данных, а K_θ - коэффициент отображения угла.

Когда человеческая рука имитирует действие захвата шариковой ручки через информационную перчатку, гуманоидный манипулятор будет следить за действием информационной перчатки и крепко удерживать шариковую ручку. На этот раз размер манипулятора-гуманоида большой: большой и средний пальцы находятся в непосредственном контакте с шариковой ручкой. Датчик давления на большом и среднем пальцах будет определять силу реакции (т. е. давления) шариковой ручки, и значение давления будет обработано нижним компьютером и отправлено на верхний компьютер, а затем отображено в интерфейсе связи. Из результатов экспериментов видно, что суставы других пальцев в основном сохраняют исходное состояние, явного состояния сжатия нет. Точно так же, когда человекоподобный манипулятор следует за киберперчаткой, чтобы схватить стакан с водой, все пять пальцев находятся под давлением. Поскольку при захвате чашки большая часть давления приходится на средний сустав пальца, величина его давления является наибольшей. Когда манипулятор захватывает карту, как шариковую ручку, концы пальцев непосредственно касаются карты. В

эксперименте рука динамической 3D-модели выполняет соответствующие действия в соответствии с информацией, передаваемой информационной перчаткой.

Эксперимент по захвату чашки с водой, шариковой ручкой и карточкой проверяет эффективность метода картирования кончиков пальцев на основе данных перчаток по захвату управления гуманоидным манипулятором. Однако в фактическом процессе захвата входное значение перчатки данных часто бывает слишком большим, что приводит к раздавливанию объекта или слишком большому току заторможенного ротора двигателя, что влияет на фактический эффект захвата. Поэтому необходимо переходить в режим контроля давления при прикосновении пальца к схваченному предмету. Поскольку информационная перчатка представляет собой датчик, определяющий угол, для контроля давления необходим специальный метод.

Корректировка процесса картирования кончиков пальцев. В фактическом процессе захвата манипулятор принимает давление P и угол θ в качестве входных переменных, и, полагаясь только на угол сустава или отображение положения кончиков пальцев, невозможно эффективно захватить объект. Из кривой отклика на рис. 4 видно, что все еще существует некоторая статическая ошибка в отображении углов. Поскольку киберперчатка в качестве управляющего терминала может собирать информацию об угле каждого сустава пальца только при захвате объекта и не имеет управляющей информации о силе захвата, самый простой способ - установить прижимное кольцо на фиксированное значение.

$$\begin{aligned} \theta_{\mathrm{h}} &= K_{\theta}\theta_{\mathrm{glove}}, \quad p_{\mathrm{h}} = 0 \\ p_{\mathrm{h}} &= P, \quad p_{\mathrm{h}} > 0 \end{aligned} \tag{13}$$

В формуле θ_h и p_h - это фактическое положение и значение давления манипулятора соответственно, θ_{glove}- значение угла сустава пальца, полученное киберперчаткой, K_θ - коэффициент отображения угла, а P - предварительно определенное значение управления давлением. Шарнирный

двигатель переключается сразу после того, как давление достигает заданного значения, и входит в режим регулирования давления.

Используя вышеупомянутый модифицированный метод сопоставления кончиков пальцев, захват различных объектов требует только изменения значения параметра *P*. Недостатком является то, что вам нужно постоянно изменять параметр *P* при захвате объектов разного веса.

Другой метод - использовать гибридный метод управления. Метод отображения углов по-прежнему используется до касания объекта. Когда объект касается, давление линейно увеличивается в соответствии с разницей углов, и давление используется в качестве контролируемой величины для образования контура давления.

$$\begin{aligned} \theta_{\mathrm{h}} &= K_{\theta}\theta_{\mathrm{glove}}\,, \quad p_{\mathrm{h}} = 0 \\ p_{\mathrm{h}} &= K_{\mathrm{p}}(\theta_{\mathrm{glove}} - \theta_{\mathrm{threshold}}), \quad p_{\mathrm{h}} > 0 \end{aligned} \tag{14}$$

В формуле θ_h, p_h, θ_{glove}, K_θ так же, как в формуле (12), K_P - коэффициент управления давлением, $\theta_{threshold}$ - значение угла пальца, когда $p_h \neq 0$ (угол пальца, когда палец просто касается объекта, как показано на рисунке 6 (а)) в положении, указанном стрелкой). Чтобы обеспечить стабильность и надежность захвата, значение $\theta_{threshold}$ необходимо динамически регулировать.

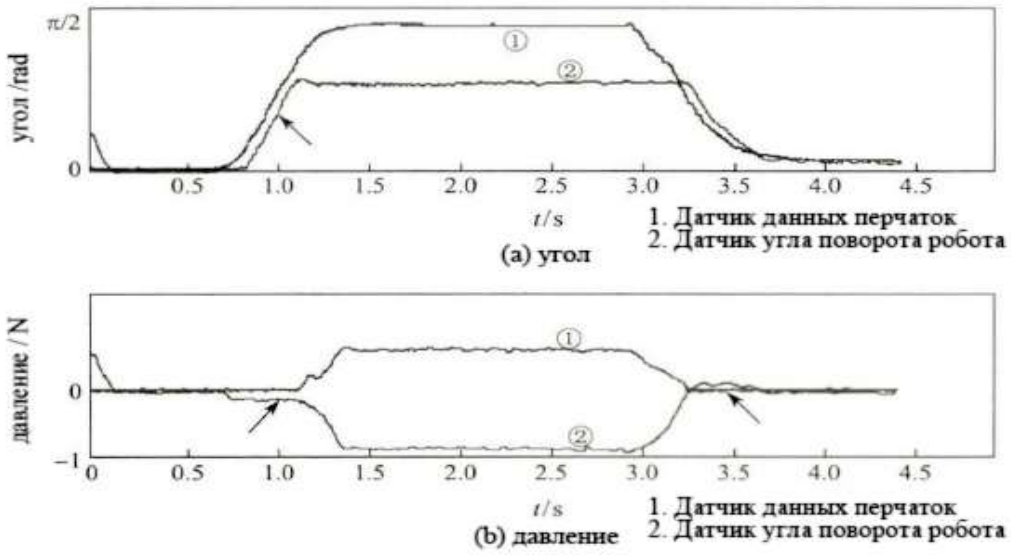

Рис. 5. Переход от отображения углов к процессу контроля давления во время захвата

На рисунке 5 показан динамический процесс гибридного управления, который преобразует отображение угла в процесс управления давлением во время захвата. Поскольку двигатель блокируется после того, как палец касается объекта, угол сустава в основном не изменяется, а величина силы захвата пропорциональна току блокировки двигателя. Если при фактическом захвате используется только режим управления углом, входной угол будет продолжать увеличиваться, а отклонение угла будет увеличиваться по мере увеличения амплитуды действия захвата данных перчаткой, и, наконец, ток будет продолжать увеличиваться, и двигатель сгорит. В это время, если угловое отклонение используется в качестве входного значения давления, оно может не только защитить двигатель от генерации большого тока заторможенного ротора, но также очень удобно контролировать величину силы захвата. Положение, указанное стрелкой слева на Рисунке **5 (b)**, - это место, где вводится нажимное кольцо. Согласно формуле (14), если требуется большее давление для захвата объекта, только ввод данных перчаткой и фактическое положение пальца требуются для поддержания большей разницы. Конечно, коэффициент регулирования давления K_P также может быть изменен.

Когда предмет необходимо положить после завершения захвата, терминалу ввода данных перчаток нужно только отпустить соответствующий палец. Когда $p_\theta = 0$, это положение, указанное стрелкой справа на рисунке **5 (b**). После выхода из режима управления давлением они возвращаются к соотношению прямого отображения.

4. Вывод

Этот документ основан на перчатке данных, чтобы завершить управление жестами и захватить управление гуманоидным манипулятором в реальном времени. Сосредоточившись на проблеме отображения движения от руки человека до манипулятора-гуманоида, изучается прямое отображение угла сустава и отображение положения кончика пальца для реализации отображения движения от руки человека к манипулятору-гуманоиду в реальной среде. Метод

отображения и эффект отображения проверяются, и Он предназначен для гибкого управления манипулятором-гуманоидом, который является хорошим решением для выполнения различных задач. Из-за ограничений механической конструкции и пространства для перемещения манипулятора в этом эксперименте еще не реализовано отображение движения для бокового движения пальца.

Литература

1. Моу Цяньцянь, Лу Сяохуа. Обзор патентной технологии захвата движения. [Дж.]. Китайская наука и технологическая информация, 2018 (18): 25-26.
2. Х. Казеруни. Взаимодействие человека и робота посредством передачи силовых и информационных сигналов [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1990, 20 (2): 450-463.
3. Сун Айгуо. Робот с телеуправлением для телеприсутствия Force (1): Развитие технологий и статус-кво [J]. Журнал Нанкинского университета информационных наук и технологий (издание Natural Science), 2013, 5 (01): 1-19.
4. Чжан Гидро, Цинь Чанг, Сунь Юаньтао. Разработка и исследование ловкой руки, приводимой в движение пневматической искусственной мышцей [Дж.]. Гидравлика и пневматика, 2018, (5): 93-97.
5. Йоханссон Г. Визуальное восприятие биологического движения и модель для его анализа [J. Perception Psychophysics, 1973; 14 (2): 201 ~ 211.
6. М. ДиЧикко, Л. Лукас, Ю. Мацуока. Сравнение стратегий управления ортопедическим экзоскелетом руки, управляемым ЭМГ [C] .// Международная конференция IEEE по робототехнике и автоматизации 2004 г. (ICRA 2004), том 2, 2004: 1622- 1627.

Literature

1. Mou Qianqian, Lu Xiaohua. Review of patent technology for motion capture. [J.]. Chinese Science and Technology Information, 2018 (18): 25-26.

2. X. Kazerooni. Human-robot interaction through the transmission of power and information signals [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1990, 20 (2): 450-463.
3. Sun Aiguo Telepresence Robot Force (1): Advances in technology and the status quo [J]. Journal of Nanjing University of Information Science and Technology (Natural Science Edition), 2013, 5 (01): 1-19.
4. Zhang Hydro, Qin Chang, Sun Yuantao. Development and research of a dexterous hand driven by a pneumatic artificial muscle [J.]. Hydraulics and Pneumatics, 2018, (5): 93-97.
5. Johansson G. Visual perception of biological movement and a model for its analysis [J. Perception Psychophysics, 1973; 14 (2): 201 ~ 211.
6. M. DiChikko, L. Lucas, Y. Matsuoka. Comparison of control strategies for an orthopedic hand exoskeleton driven by EMG [C]. // IEEE International Conference on Robotics and Automation 2004 (ICRA 2004), Volume 2, 2004: 1622-1627.