

РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ С ГИБКИМИ ЗВЕНЬЯМИ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ ВЕСА

А.И. Бугаков

Томский политехнический университет

E-mail: aib39@tpu.ru

Введение

В настоящее время манипуляторы параллельной структуры с гибкими звеньями часто применяются в промышленности для перемещения различных грузов в пространстве, например, при строительстве крупногабаритных конструкций, погрузо-разгрузочных работах, 3D-печати в строительстве, видеосъёмке на больших открытых пространствах. Это обусловлено рядом преимуществ перед последовательными и параллельными манипуляторами с жесткими связями. К таким преимуществам относятся: масштабируемость, простота конструкции, большая рабочая область, высокий коэффициент полезной нагрузки, а также низкие инерционные свойства, что позволяет облегчить работу и управление на высоких скоростях.

Ключевое преимущество подобного манипулятора – возможность динамически менять вектор прилагаемой к объекту силы, тем самым компенсируя полностью или часть его массы, что может быть полезно для уменьшения веса объекта при его движении или для воссоздания условий невесомости, например, для проведения испытаний космических трансформируемых крупногабаритных конструкций. В данной работе в качестве приоритетного направления выбрана задача частичной компенсации веса тела человека в рамках реабилитационных мероприятий.

Помимо вышеописанных применений манипулятор подобной структуры может быть применен в научно-исследовательских целях: исследование эффективности различных методов реабилитации, испытания робототехнических комплексов (мобильные роботы, андройды, экзоскелеты), в спорте высоких достижений, в сфере развлечений (расширение возможностей виртуальной реальности).

В данной работе описаны основные принципы разрабатываемого манипулятора параллельной структуры с гибкими звеньями для решения задач компенсации веса тела.

Реабилитация пациентов с патологией и травмами опорно-двигательного аппарата

Патологии и травмы опорно-двигательного аппарата приводят к ограничению возможности перемещения, самообслуживания и обеспечения бытовых потребностей. Несвоевременное начало реабилитационных мероприятий или использование их не в полной мере, может являться причиной формирования инвалидности. В постиммобилизационный период реабилитации,

решаются следующие задачи: уменьшение болевого синдрома, увеличение подвижности и эластичности тканей, амплитуды движения в суставах. На данном этапе происходит нормализация мышечного тонуса, осанки и тренировка вестибулярного аппарата. В программу комплексной реабилитации на данном этапе входит механотерапия – применение механических, или работающих на основе электро-/пневмопривода аппаратов с целью облегчения движений и увеличения подвижности в суставах, так и для увеличения нагрузки на определенные мышечные группы с целью их укрепления.

Манипулятор компенсирует часть массы тела человека (5-95%), позволяя снять нагрузку с позвоночника и нижних конечностей пациентов, в значительной степени повышая эффективность реабилитационных мероприятий и обеспечивая мобильность малоподвижным пациентам.

Манипулятор может быть применен при всех заболеваниях с двигательными нарушениями, например, нарушениях ходьбы вследствие инсульта, травмах головного и спинного мозга, при рассеянном склерозе, при спинальных травмах, демиелинизирующих заболеваниях и паркинсонизме [1].

Назначение разработки и основные функции

Назначение:

1. Обеспечить пациенту мобильность в рамках помещения;
2. Сопровождать в процессе выполнения комплекса реабилитационных упражнений;
3. Совместить несколько систем реабилитации в одном помещении, например, брусью и беговую дорожку и т.д.
3. Сократить персонал реабилитационных медицинских организаций, предотвратить травмы спины сотрудников;
4. Позволить начать реабилитацию гораздо раньше, чем традиционные методы, тем самым ускорить её и повысить эффективность.

Основные функции:

1. Компенсация веса пациента в движении;
2. Предотвращение падений;
3. Подъём пациента из положения лёжа/сидя;
4. Выравнивание траектории движения, тем самым предотвращая заваливание на одну из сторон.

Описание разрабатываемого манипулятора

Конструктивно манипулятор состоит из четырёх электроприводов, закрепленных в верхних

угловых точках помещения. Каждый электропривод имеет барабан, на который наматывается трос, свободный конец которого сцеплен с концом трёх других тросов и с подвесом (механизм крепления тросов к костюму пациента).

Электропривод вращает барабан, наматывая трос, тем самым изменяя его длину, что позволяет изменять положение подвеса в пространстве.

Общий вид разрабатываемого манипулятора параллельной структуры с гибкими звеньями представлен на рисунке 1.

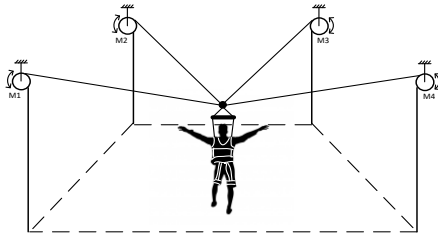


Рис. 1. Общий вид манипулятора

Решение задачи кинематики

В кинематической схеме, приведенной на рисунке 2, длины тросов равны радиусу сферы с центром в точке размещения привода. На данном этапе допускаем, что нерастяжимые тросы.

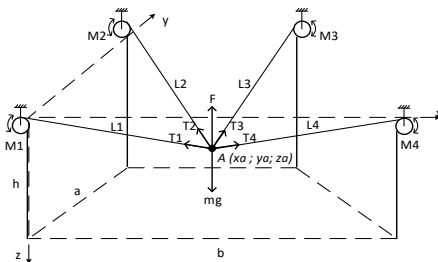


Рис. 2. Кинематическая схема манипулятора

Здесь x_a, y_a, z_a – координаты подвеса в текущий момент времени; L_1, L_2, L_3 – длина тросов; a – расстояние между приводами M_1 и M_2 ; b – расстояние между приводами M_1 и M_3 .

Задача управления манипулятором на данном этапе проектирования сводится к решению задачи перемещения подвеса в пространстве и обеспечении силы, компенсирующей вес тела [2].

Первая задача представляет из себя обратную задачу кинематики, т.е. по известному положению подвеса в рабочей зоне, необходимо определить длины тросов:

$$\begin{cases} L_1 = \sqrt{x_a^2 + y_a^2 + z_a^2} \\ L_2 = \sqrt{(x_a - a)^2 + y_a^2 + z_a^2} \\ L_3 = \sqrt{x_a^2 + (y_a - b)^2 + z_a^2} \\ L_4 = \sqrt{(x_a - a)^2 + (y_a - b)^2 + z_a^2} \end{cases}$$

Вторая задача – регулирование вектора компенсирующей силы может быть решена изменением усилия на каждом из четырех тросов

путём независимого регулирования момента на соответствующем приводе. При возможности размещения датчика веса на подвесе, можно реализовать независимый контур регулирования, работающий параллельно с контуром регулирования положения подвеса.

Данная задача может быть решена если известна сила натяжения каждого из тросов, которые необходимо обеспечить для компенсации веса тела. Для этого произведем разложение вектора компенсирующей силы на 4 вектора $\{\bar{L}_1, \bar{L}_2, \bar{L}_3, \bar{L}_4\}$ – по модулю и направлению соответствующие четырем тросам и получим векторы сил натяжений тросов $\{\bar{T}_1, \bar{T}_2, \bar{T}_3, \bar{T}_4\}$.

$$\begin{aligned} \bar{F} &= \bar{T}_1 + \bar{T}_2 + \bar{T}_3 + \bar{T}_4 \\ \bar{F} &= a_1 \bar{L}_1 + a_2 \bar{L}_2 + a_3 \bar{L}_3 + a_4 \bar{L}_4 \\ T_i &= |a_i \bar{L}_i|, \end{aligned}$$

где, a_i – коэффициент разложения вектора \bar{F} по базису $\{\bar{L}_1, \bar{L}_2, \bar{L}_3, \bar{L}_4\}$.

Известно, что чем меньше высота помещения, тем большие силы натяжения необходимо обеспечивать на тросах. Кроме того, наибольшей энергоэффективности можно добиться, если проекция рабочей зоны манипулятора на горизонтальную плоскость является квадратом [3].

Заключение

В данной работе сформулирована концепция и общие требования к разработке и использованию манипуляторов параллельной структуры с гибкими звеньями. Предложены области применения манипуляторов такого типа.

Разработана кинематическая схема манипулятора и её математическая модель, что позволит в дальнейшем реализовать систему управления и разработать опытный макет манипулятора для подтверждения работоспособности предлагаемой конструкции.

Список использованных источников

1. Apte S., Plooij M., Vallery H. Influence of body weight unloading on human gait characteristics: a systematic review // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation – 2008. – №15. – p. 53.
2. Карманова А.В., Филипас А.А. Исследование модели трехточечного крана гибкой подвески // Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий: сб. тр. конф., г. Сереврск, 2016. – С. 68-68а. г. Северск, 21-25 марта 2016 г. – Северск: Изд-во ФГАОУ ВПО НИЯУ МИФИ, 2016. – С. 68-68а.
3. Валукевич Ю.А., Алепко А.В., Яковенко Д.М., Дубовсков В.В. Анализ влияния конструктивных параметров манипулятора с параллельной структурой на точность позиционирования схвата // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 11-4. – С. 687