

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

**Реализация систем контроля и управления роботизированной рукой
модели AR-600E**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 206 группы
направления 12.04.04 Биотехнические системы и технологии
факультета нано- и биомедицинских технологий

Махонина Алексея Алексеевича

Научный руководитель
Доцент, к.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Д.Д. Кульминский

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой, д.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Е.П. Селезнев

инициалы, фамилия

Саратов 2019

1. Введение

Цели и актуальность работы

Роботизированные манипуляторы занимают важное место в научно-техническом прогрессе. Несмотря на то, что различные проблемы кинематики роботизированных манипуляторов изучаются уже более полувека, задача управления конкретной моделью манипулятора не теряет своей актуальности и сегодня, прежде всего в прикладном смысле. В выпускной квалификационной работе рассматривается создание некоторых систем и программ, обеспечивающих контроль и управление роботизированной рукой модели AR-600E, разработанной и изготовленной НПО «Андроидная техника» (г. Магнитогорск).

Задачи выпускной квалификационной работы

1. Решить прямую задачу кинематики роботизированной руки AR-600E.

1.1. Составить программу для решения прямой задачи кинематики AR-600E с помощью автоматического перемножения матриц поворота.

1.2. Составить формулы (по одной для каждой оси: X, Y, Z) для нахождения координат и ориентации схвата.

1.3. Произвести взаимную проверку программы из п. 1.1 и формул из п. 1.2.

2. Решить обратную задачу кинематики роботизированной руки AR-600E.

2.1. Составить программу для вычисления координат запястья роботизированной руки по заданным координатам и ориентации схвата.

2.2. Составить программу для вычисления углов поворота звеньев руки (кроме ладони) без учёта физических ограничений, налагаемых на руку.

3. Провести эксперимент по управлению моделью роботизированной руки AR-600E в симуляторе «Mechatronics» в реальном времени.

Структура и объём работы

Магистерская работа состоит из введения, теоретической части, четырёх разделов практической части, заключения и списка литературы. Общий объём работы составляет 54 (пятьдесят четыре) страницы; в списке использованной литературы приведены 27 (двадцать семь) источников.

2. Краткое содержание работы

Решение прямой задачи кинематики

После анализа научной литературы по данному вопросу было решено применять метод, основанный на использовании матриц поворота, как описано в [1]. Было очевидно, что такой способ решения прямой задачи кинематики не вызовет значительных трудностей — как отмечалось ранее, решить прямую задачу кинематики в каком-либо конкретном случае не составляет труда даже при отсутствии ЭВМ; при этом, однако, потребуются значительные временные затраты на составление соответствующих матричных уравнений, их решение и проверку.

Чтобы уменьшить временные затраты, было принято решение составить программу для автоматического перемножения матриц поворота; затем, при условии её корректной работы, вывести по одной единственной формуле для каждой из осей: X , Y , Z . Такой подход оправдал себя в дальнейшем, так как упомянутые формулы (даже в письменном виде, не говоря о тексте компьютерной программы, требующей определённого синтаксиса и определённой расстановки знаков) оказались чрезвычайно длинными и, следовательно, трудными не только для анализа, но и для восприятия.

Переход от автоматического перемножения матриц к формулам

Для упрощения решения обратной задачи кинематики, а также по соображениям наглядности и, в последнюю очередь, быстродействия программы для ЭВМ было решено перейти от автоматического перемножения матриц к трём единственным для каждой оси формулам, которые бы описывали координаты схвата. Ввиду того, что выражения основаны на матричном исчислении, а также из-за особенностей

языка программирования C выражения для расчёта положения и ориентации схвата отличаются исключительной громоздкостью. Выражения являются математически простыми, но в то же время длинными и трудными для восприятия. В выражение для координат схвата, кроме того, добавляются три угла: R.WristF, R.WristS, R.WristR.

Решение обратной задачи кинематики

Поскольку не существует единого, универсального алгоритма решения обратной задачи кинематики для манипулятора с семью степенями свободы, было решено использовать упрощённый геометрический подход, основанный на правилах и приёмах геометрии треугольника и векторной алгебры. Кроме того, использовались правила и формулы тригонометрии.

Можно представить кисть (конечность между запястьем и окончанием схвата) как вектор с началом, совпадающим с координатами схвата (координаты схвата известны по условию задачи), заданным направлением (ориентация в системе координат также известна по условию задачи) и известной длиной (длина кисти заранее известна из конструкции роботизированной руки). Таким образом, не представляет труда найти конец данного вектора, совпадающий с запястьем, по известным формулам векторной алгебры. Также очевидно, что плечо, предплечье и воображаемая линия, проведённая между плечевым суставом и запястьем, образуют мнимый треугольник. Поскольку длины плеча и предплечья известны, координаты запястья определяются единственным образом по известным координатам и ориентации схвата, а расстояние между точкой крепления и запястьем легко вычислить по известным геометрическим формулам, можно однозначно найти угол R.Elbow — угол сгиба руки (угол между плечом и предплечьем).

Экспериментальная проверка решений

Экспериментальная проверка решения прямой задачи кинематики проводилась с использованием симулятора «Mechatronics». Отрезки и числовые значения были построены и наложены на изображения из симулятора с использованием стороннего САПР.

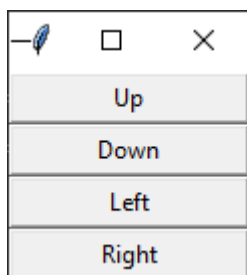
Для проверки решения обратной задачи кинематики были приняты координаты схвата (округлённые до ближайшего целочисленного значения, когда возможно), полученные в пункте 5.1. Первое значение соответствует горизонтали, второе – вертикали. Кроме того, необходимо задать ориентацию схвата; для этого были выбраны два угла: углы между схватом и плоскостями XOY и XOZ . Было достигнуто приемлемое совпадение исходных данных и полученных результатов вычислений.

Управление роботизированной рукой в реальном времени

Программа-клиент на языке Python 3 была составлена с использованием стандартных алгоритмов связи с сервером с учётом особенностей данного языка программирования и данной его версии. После проверки работоспособности данной программы она была интегрирована в программу генерации управляющих команд.

Управляющая программа была написана и отлажена на языке C до создания программы-клиента. После неудачи с программой-клиентом на C и реализации её на Python было решено переписать управляющую программу на том же языке, а затем, после отладки, интегрировать в неё программу-клиент (такая структура

обусловлена удобством работы и уже устоявшейся логикой составления программ).



Интерфейс управляющей программы с кнопками «Вверх», «Вниз», «Влево», «Вправо».

Обеспечена запись действий пользователя в файл журнала для дальнейшего контроля, анализа и сопоставления.

3. Заключение

Задачи выпускной квалификационной работы выполнены.

1. Прямая задача кинематики роботизированной руки AR-600E решена.

1.1. Составлена программа для решения прямой задачи кинематики AR-600E с помощью автоматического перемножения матриц поворота.

1.2. Выведены формулы (по одной для каждой оси: X, Y, Z) для нахождения координат и ориентации схвата.

1.3. Установлено, что результаты вычислений с помощью программы из п. 1.1 совпадают с результатами, полученными при использовании формул из п. 1.2.

2. Решена обратную задачу кинематики роботизированной руки AR-600E.

2.1. Составлена программа для вычисления координат запястья роботизированной руки AR-600E по заданным координатам и ориентации схвата.

2.2. Составлена программа для вычисления углов поворота звеньев руки (кроме ладони) без учёта физических ограничений, налагаемых на руку.

3. Составлена программа-клиент, позволяющая в реальном времени управлять моделью роботизированной руки в симуляторе «Mechatronics».

4. Список литературы

1. Фу К. Робототехника: перевод с английского. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. – М.: Мир, 1989. – 624 с., ил. ISBN 5-03-000805-5.
2. Юревич Е.И. Основы робототехники. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.: ил. ISBN 5-94157-473-8.
3. Шахинпур М. Курс робототехники: пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 527 с., ил. ISBN 5-03-001375-X.
4. Механика промышленных роботов: Учеб. пособие для втузов: В 3 кн. /Под ред. К. В. Фролова, Е. И. Воробьева. Кн. 1: Кинематика и динамика/Е. И. Воробьев, С. А. Попов, Г. И. Шевелева. —М.: Высш. шк. , 1988 г. — 304 с.: ил. ISBN 5-06-001201-8.
5. Караваев А.С. Разработка систем на базе микроконтроллеров и ПЛИС. Введение. Учебно-методическое пособие для студентов факультета нано- и биомедицинских технологий Саратовского госуниверситета. Саратов, 2010. 104 с.
6. Kernighan, Brian W. The C programming language. Ritchie, Dennis M., joint author. QA76.73.C15K47 001.6'424 77-28983 ISBN 0-13-110163-3.
7. В.Г. Хомченко, А.О. Строев. Решение обратной задачи кинематики ангулярных роботов в среде MATHCAD. Омский государственный технический университет.
8. Данилов А.В., Кропотов А.Н., Трифонов О.В. Общий подход к решению обратной задачи кинематики для манипулятора последовательной структуры с помощью конечного поворота и смещения. ИПМ им. М.В.Келдыша. 2018. № 81. 15 с.

9. Проскуряков Г.М. Геометрия и кинематика пространственного состояния подвижных объектов. Г.М. Проскуряков, П.К. Плотников. Саратов: СПИ, 1992. 120 с.
10. Ростов Н.В. Анализ алгоритмов решения обратных задач кинематики в системах управления движением роботов. Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2014. Выпуск 5 (205). С. 93–99.
11. Карпович С.Е., Луценко В.Е., Кузнецов В.В. Алгоритмизация обратной задачи кинематики параллельного манипулятора на шестикординатном линейном шаговом приводе. УДК 531.1:621.313.13.
12. King Sun Fu, Rafael C. González, C. S. George Lee. Robotics: control, sensing, vision, and intelligence. McGraw-Hill, 1987. 580 p. ISBN 9780070226265.
13. M. W. Spong, M. Vidyasagar. Robot Dynamics and control. Wiley, New York, 1989.
14. Paul, Richard. Robot manipulators: mathematics, programming, and control: the computer control of robot manipulators. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1981. ISBN 978-0-262-16082-7.
15. Jennifer Kay. Introduction to Homogeneous Transformations & Robot Kinematics. Rowan University, Computer Science Department. January 2005.
16. Hartenberg, R. S., and J. Denavit. Kinematic Synthesis of Linkages. New York: McGraw-Hill, 1964.
17. J. M. McCarthy. Introduction to Theoretical Kinematics. MIT Press, Cambridge, Massachusetts. 1990.

18. J. M. McCarthy and G. S. Soh. Geometric Design of Linkages, 2nd Edition. Springer, 2010.
19. John J. Craig. Introduction to Robotics: Mechanics and Control (3rd Edition). Prentice-Hall. 2004.
20. Giovanni Legnani, Federico Casolo, Paolo Righettini and Bruno Zappa. A homogeneous matrix approach to 3D kinematics and dynamics. I. Theory. Mechanism and Machine Theory, Volume 31, Issue 5. July 1996. Pp. 573–587.
21. Giovanni Legnani, Federico Casolo, Paolo Righettini and Bruno Zappa. A homogeneous matrix approach to 3D kinematics and dynamics. II. Applications to chains of rigid bodies and serial manipulators. Mechanism and Machine Theory, Volume 31, Issue 5. July 1996. Pp. 589–605.
22. S.A. Hayati and M. Mirmirani. Improving the absolute positioning accuracy of robot manipulators. J. Robotic Systems, 2(4):397–441. 1985
23. A. Bottema and B. Roth. Theoretical Kinematics. Dover Books on Engineering. Dover Publications, Inc. Mineola, NY. 1990.
24. D. G. Luenberger. Linear and Nonlinear Programming. Addison Wesley. 1989.
25. J. J. Uicker, G. R. Pennock, and J. E. Shigley. Theory of Machines and Mechanisms. Oxford University Press, New York. 2003.
26. Larry L. Howell. Compliant mechanisms, John Wiley & Sons. 2001.
27. Alexander Slocum. Precision Machine Design, SME. 1992.