ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОТОВ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

Плетенец А.В. *(секция «Мехатроника», ДонНТУ, г.Донецк, Украина)*

Основной целью при изучении динамики манипулятора и является математическое описание действующих на манипулятор сил и моментов в форме уравнений динамики движения. Также уравнения необходимы для моделирования движения манипулятора с помощью ЭВМ, при выборе законов уравнения и при оценке качества кинематической схемы и конструкции манипулятора. Задача управления включает задачу формирования динамической модели реального манипулятора и задачу выбора законов или стратегий управления, обеспечивающих выполнение поставленных целей.

Динамика играет важную роль при управлении параллельных роботов следующих видов:

1. высокоскоростных или тяжело нагруженных роботов: они имеют относительно большую рабочую зону и работают со скоростью, при которой динамический эффект оказывает существенное влияние на положение исполнительного органа. Примерами являются тренажеры летательных аппаратов и погрузочные роботы.
2. роботы с высокой пропускной способностью: такие роботы работают в очень небольшой рабочей зоне, но с высокой частотой [1].
3. конструктивно-точные роботы: структура этих роботов такова, что динамический эффект, даже при низкой скорости, может существенно изменить их поведение. Типичными примерами роботов этой категории являются проволочные роботы и гибкие роботы. Для высокоскоростных машин динамические ошибки оказывают гораздо более сильное воздействие, чем статические ошибки.

Одним из важнейших вопросов при контроле и управление параллельными роботами является учет динамической модели робота. В некоторой литературе можно найти рекомендации, что динамическая модель манипулятора не должна учитываться, поскольку моделирование ошибки является очень сложным процессом. Некоторые параметры, появляющиеся в динамических соотношениях очень сложно оценить. Эта рекомендация может быть применима к некоторым роботам первой категории. Для остальных параллельных манипуляторов она является менее обоснованной [3].

Другим важным вопросом является учет масс звеньев манипулятора. Часто при расчете динамической модели манипулятора принимают некоторые упрощения. Например Clavel, Pierrot [2] и Codourey пренебрегают силами инерций вращающихся звеньев, предполагая что их массы сосредоточены на концах звеньев. Codourey успешно применил этот принцип при моделирование робота Дельта.

Do [4], предполагая, что центр масс каждого звена находится в середине звена и что подвижная платформа представляет собой диск, упрощает матрицы сил инерций. Изучая влияние сил инерций звеньев пришел к выводу, что инерции звеньев можно отнести к платформе и это означает, что силами инерцией звеньев можно пренебречь.

Основной задачей динамики манипулятора является решения прямой и обратной задач. Прямая задача состоит в том, чтобы по заданным силам и моментам определить обобщённые ускорения, интегрирование которых позволит получить

* - Работа выполнена под руководством проф. Горобца И.А., секция "Мехатроника" каф. МС и СПУиМ.

значения обобщённых координат и скоростей [5]. Обратная задача динамики заключается в том, чтобы по заданным обобщённым координатам, скоростям и ускорениям определить действующие в сочленениях манипулятора силы и моменты.

Классический метод расчета динамических моделей замкнутых цепей заключается в рассмотрении первой эквивалентной структуры, а затем для рассмотрения ограничений системы используют множитель Лагранжа или принцип Даламбера. Другие подходы включают в себя использование принципа виртуальных работ, формализмов Лагранжа, принцип Гамильтона и метод Ньютона-Эйлера. В некоторых случаях используют комбинации нескольких принципов. Динамическая модель манипулятора может быть построена на основе использования известных законов ньютоновой или лагранжевой механики. Результатом применения этих законов является уравнения, связывающие действующие в сочленениях силы и моменты с кинематическими характеристиками и параметрами движения звеньев.

Уравнения динамики движения реального манипулятора могут быть получены методами Лагранжа-Эйлера или Ньютона-Эйлера. Уравнения Лагранжа-Эйлера обеспечивают строгое описание динамики манипулятора.

Среди современных методов моделирования динамики манипуляторов отметим подходы, основанные на использовании нейронных сетей, методов нечеткой логики [6]. Анализ основных достижений в области моделирования динамики роботов, начиная с работ 60-70 годов прошлого века по 2000 г., дан Featherstone и Orin в [7].

В таблице представлены результаты анализа методов описания динамики манипуляторов по форме уравнений, вычислительной эффективности (для манипуляторов с шестью степенями свободы.

Важными критериями оценки алгоритма является удобство программирования, замкнутость уравнений, возможность применения символьных преобразований. Исходя из приведенной таблицы 1 можно сделать вывод, что описание динамики манипулятора уравнениями Лагранжа имеет существенны недостаток – большое количество вычислительных операций. Тем не менее работах ряда авторов [8] указывается, что во многих случаях (например в задачах управления роботами) наиболее подходящим способом описания динамики являются именно уравнения Лагранжа.

Таблица 1. Сравнение методов описания динамики манипулятора

Форма Уравнений	Авторы Алгоритма	Число операций		Замкнутость	Прямая задача
		X	+		
Лагранж (II рода)	Uicker/Kahn	66271	51548	+	+
Ньютон-Эйлер	Vukobratovic/ Stepanenko	2907	2068	+	+
Д'Аламбер	Lee/Lee/Nigam	2963	2209	+	+

Рассмотрим подробнее метод Лагранжа-Эйлера, описывающий динамику движения манипулятора.

Полное описание движения манипулятора можно получить, применяя метод Лагранжа-Эйлера для неконсервативных систем. Описав кинематику манипулятора с помощью матричного представления Денавита-Хартенберга, можно получить уравнение динамики. Такое совместное использование Д-Х-представления и метода

* - Работа выполнена под руководством проф. Горобца И.А., секция "Мехатроника" каф. МС и СПУиМ.

Лагранжа приводит к компактной векторно-математической форме уравнений движения, удобной для аналитического исследования и реализуемое на ЭВМ.

Вывод уравнений динамики движения манипулятора основан на следующем:

1. На описании взаимного пространственного расположения систем координат ***i***-го и (***i***-1)-го звеньев с помощью матрицы преобразования однородных координат ${}^{i-1}A_i$. Эта матрица преобразует координаты произвольной точки относительно ***i***-й системы координаты этой же точки относительно (***i***-1)-й системы координат.
2. На использовании уравнения Лагранжа-Эйлера:

$$\frac{d}{dt}\left[\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}\right] - \frac{\partial L}{\partial q_i} = \tau_i; \qquad i = 1,\ 2,\ 3, \ldots, n,$$

где L-функция Лагранжа ($L=K-P$);

K-полная кинетическая энергии манипулятора;

P-полная потенциальна энергия манипулятора

q_i -обобщённые координаты манипулятора;

$\dot{q}_i$-первая производная по времени обобщённых координат;

τ_i-обобщённые силы (или моменты), создаваемые в ***i***-м сочленении для реализации заданного движения ***i***-го звена.

Для того, чтобы воспользоваться уравнением Лагранжа-Эйлера, необходимо выбрать систему обобщённых координат. Обобщённые координаты представляют собой набор координат, обеспечивающий, полное описание положения рассматриваемой физической системы в абсолютной системе координат. Существуют различные системы обобщенных координат, пригодные для описания простого манипулятора с вращательными и поступательными сочленениями. Однако, поскольку углы поворотов в сочленениях непосредственно доступны измерению с помощью потенциометров или других датчиков, то они составляют наиболее естественную систему обобщенных координат. В этом случае обобщённые координаты совпадают с присоединенными переменными манипулятора. В частности, если ***i***-е сочленение вращательное, то $q_i \equiv \theta_i$, если же ***i***-е сочленение поступательное, то $q_i \equiv d_i$.

Список литературы: **1**. McInroy J. E. Modeling and design of flexure jointed Stewart platforms for control purposes. IEEE/ASME Trans. on Mechatronics, March 2002. **2.** Pierrot F., Dauchez P., and Fournier A. Fast parallel robots. Journal of Robotic Systems, December 1991. **3.** Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators, John Wiley & Sons, New York, N.Y., 1999. **4.** Do W.Q.D. and Yang D.C.H. Inverse dynamic analysis and simulation of a platform type of robot. J. of Robotic Systems,1988. **5.** J-P. Merlet. Parallel robots, 2nd Edition. Springer, Heidelberg, 2005. **6.** M. Emami, A. Goldenberg, I. Turksen, Fuzzy-Logic Dynamics Modeling of Robot Manipulators, Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Leuven, Belgium, May 1998. **7.** R. Featherstone, D. Orin, Robot Dynamics: Equations and Algorithms, Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation, San Francisco, CA, April 2000. **8.** Vukobratovic M, Kircanski N, Real-time dynamics of manipulation robots, Springer-Verlag, 1985.

* - Работа выполнена под руководством проф. Горобца И.А., секция "Мехатроника" каф. МС и СПУиМ.