

Оценка нелинейных динамических эффектов в задаче программного управления роботом-манипулятором лесной машины

Ю. П. Эпштейн¹

Петрозаводский государственный университет

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены вопросы динамики программного движения робота-манипулятора лесной машины на основе анализа его точной модели. Дается оценка нелинейным динамическим эффектам, вызванным действием центробежных и кориолисовых сил. Такая оценка важна при выборе законов управления, оценке качества кинематической схемы и конструкции робота-манипулятора.

Ключевые слова: робот-манипулятор, динамика, моделирование на ЭВМ.

SUMMARY

The paper deals with dynamics of the controlled motion of the forest manipulating robot based on the analysis of its exact model. It gives a proper estimation of nonlinear dynamic effects caused by centrifugal and Coriolis forces. Such estimation is very important in deciding on the control laws, for the quality assessment of kinematics and construction of the manipulating robot.

Keywords: manipulating robot, dynamics, computer simulation.

ВВЕДЕНИЕ

Динамика движения манипулятора связана с математическим описанием действующих на манипулятор сил и моментов в виде уравнений динамики движения, которые отличаются от соответствующих уравнений статики наличием дополнительных, инерционных, составляющих, вызывающих перегрузку (в ряде случаев разгрузку) механизма.

Вопросам снижения динамической нагруженности манипуляторов лесосечных машин при колебаниях во время пуско-тормозных режимов посвящены работы В. А. Александрова, А. В. Жукова, Ю. Ю. Герасимова, В. С. Сюнева, А. А. Чуракова и ряда других авторов.

При переходе к автоматизированному, программному, управлению роботом-манипулятором лесной машины должны быть решены две задачи: формирование динамической модели манипулятора и выбор, на основе этой модели, законов управления, обеспечи-

вающих заданное поведение системы. Силовые приводы в сочленениях манипулятора должны создавать такие управляющие усилия, которые необходимы для того, чтобы рабочий орган манипулятора отслеживал заданную траекторию движения.

Динамическая модель манипулятора может быть построена на основе использования известных законов ньютоновой и лагранжевой механики [1,2]. К настоящему времени разработаны эффективные рекурсивные методы. Динамика движения манипулятора описывается системой прямых и обратных рекуррентных уравнений, поочередно применяемых ко всем звеньям. Прямые уравнения позволяют последовательно – от основания манипулятора к его схвату – вычислять кинематические характеристики движения звеньев. При помощи обратных уравнений, последовательно – от схвата к основанию – вычисляются силы, действующие на звенья, а также управляющие моменты, которые должны быть созданы силовыми приводами для реализации заданной траектории движения.

На рис. 1 приведены матричная форма уравнений движения манипулятора и схема решения обратной задачи динамики – задачи программного управления: по заданным обобщенным координатам θ_i , скоростям $\dot{\theta}_i$ и ускорениям $\ddot{\theta}_i$, а также длинам звеньев ℓ_i , их массо-инерционным характеристикам m_i и I_i определяются действующие в сочленениях манипулятора управляющие моменты M_i .

Статическая составляющая моментов $C(\theta)$ связана с действием сил тяжести и зависит от конфигурации манипулятора, которая постоянно изменяется при его движении. Линейная динамическая составляющая $A(\theta)\ddot{\theta}$ учитывает действие сил инерции, обусловленных ускорением (замедлением) движения каждого звена. Нелинейная динамическая составляющая $B(\theta, \dot{\theta})$ связана с действием центробежных и кориолисовых сил инерции.

Динамика движения манипулятора описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка. Применение полученных уравнений для расчета управляющих моментов, с вычислительной точки зрения, представляет большие трудности при решении задач управления в реальном масштабе времени. Делались попытки разработки упрощенной линейной модели динамики движения манипулятора, не учитывающей кориолисовы и центробежные силы. Однако при быстром движении звеньев манипулятора кориолисовы и центробежные силы инерции оказывают существенное влияние на динамику движения. В связи с этим применение упрощенной модели динамики накладывает ограничения на скорость движения манипулятора, что нежелательно в большинстве производственных процессов.

¹ Автор - доцент кафедры механики
© Ю. П. Эпштейн, 2001

Таким образом, в каждом конкретном случае должна быть дана оценка нелинейным динамическим эффектам, вызванным действием центробежных и кориолисовых сил, что и было сделано в этой работе на основе результатов численного моделирования динамики управляемого движения робота-манипулятора лесной машины.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Моделировалась технологическая операция: пакетирование срезанного дерева из начального положения в конечное при одновременном движении всех звеньев манипулятора. На рис. 2а, б показаны начальная и конечная конфигурации и манипулятора и дерева. Программные движения всех звеньев и дерева моделировались при помощи полинома Эрлита пятой степени (рис. 2в). Такое пропорциональное управление обеспечивает «мягкий» (без толчков) отход от начального положения и «мягкий» подход к конечному положению. Продолжительность операции переноса дерева была принята равной $\tau = 5$ сек. На рис. 2г приведены геометрические и массо-инерционные параметры звеньев манипулятора (на базе трактора ТБ-1М) и дерева, принятые при моделировании.

Задача программного управления решалась с использованием пакета прикладных программ кинематического и динамического анализа многозвенных манипуляторов, разработанного на основе алгоритмов формирования уравнений динамики [2]. Результаты численного моделирования представлены на рис. 3.

Графики зависимости управляющих моментов поворотной колонки M_1 и стрелы M_2 от времени показаны на рис. 3а. Для поворотной колонки характерно отсутствие статической (гравитационной) составляющей управляющего момента ($M_1^c = 0$). Линеинейная инерционная составляющая M_1^A знакопеременная. Нелинейная динамическая составляющая M_1^B , обусловленная действием кориолисовых сил, существенна и достигает максимального значения к моменту начала торможения. Что касается управления стрелой, то влияние гравитационных сил тяжести велико и нарастает к концу пакетирования. Влияние динамики значительно: при разгоне - перегрузка, а при торможении - разгрузка силового привода стрелы манипулятора.

На рис. 3б приведены графики зависимостей от времени управляющих моментов рукояти M_3 и захвата M_4 , а также пунктиром показаны графики для нелинейных инерционных составляющих M_3^B и M_4^B , обусловленных действием центробежных и

кориолисовых сил. Влияние этих сил существенно, особенно к концу разгона. Нужно отметить, что при релейном, кусочно-линейном режиме управления центробежные и кориолисовы силы являются единственными силами инерции на этапе равномерного вращения звеньев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опираясь на законы кинематики и динамики манипулятора, можно так управлять силовыми приводами сочленений, чтобы рабочий орган манипулятора двигался вдоль некоторой заданной траектории, обеспечивающей выполнение поставленной задачи. Вопросы кинематики управляемого движения робота-манипулятора лесной машины подробно рассмотрены в работе [3]. В данной статье на основе динамического анализа программного движения дана оценка нелинейным динамическим эффектам, вызванным действием центробежных и кориолисовых сил. Влияние этих сил существенно, что должно учитываться при разработке систем программного управления, оценке качества кинематической схемы и конструкции робота-манипулятора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника. М.: Мир, 1989. 624 с.
2. Заремба А. Т. Уравнение динамики многозвенного манипулятора с голономными связями // Механика твердого тела. 1990. № 4. С. 25-34.
3. Эпштейн Ю. П. Управление роботами-манипуляторами лесных машин // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. 1999. Вып. 2. С. 198-203.

$$\begin{matrix} \theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta} \\ m, J, l \end{matrix} \rightarrow \mathbf{A}(\theta)\ddot{\theta} + \mathbf{B}(\theta, \dot{\theta}) + \mathbf{C}(\theta) = \mathbf{M} \rightarrow \mathbf{M}_i$$

Рис. 1

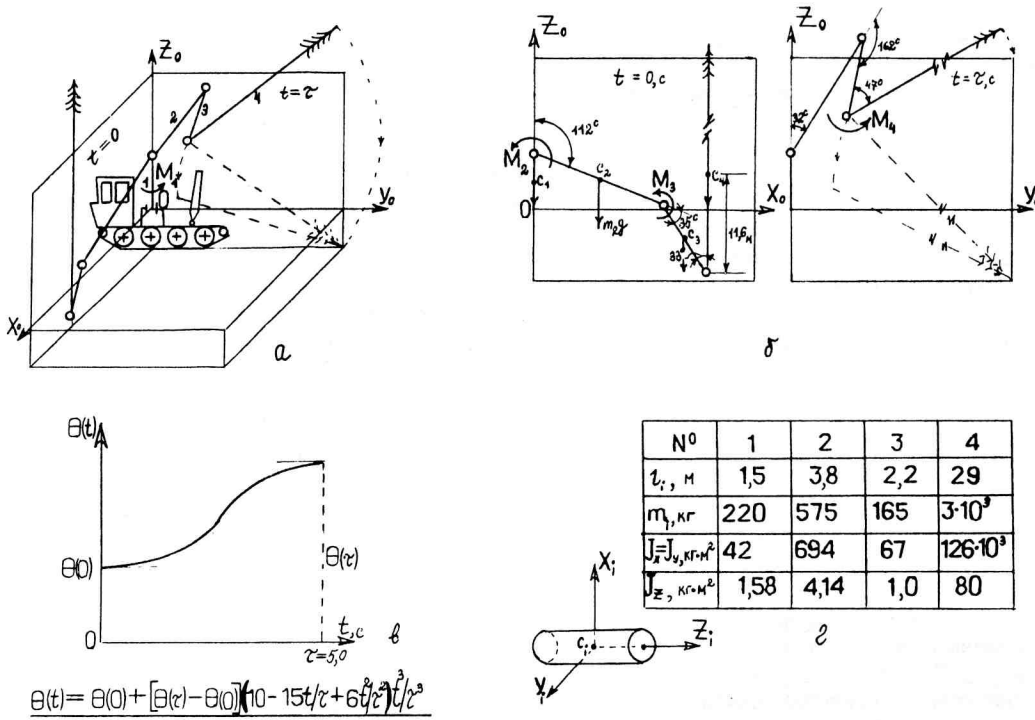


Рис. 2

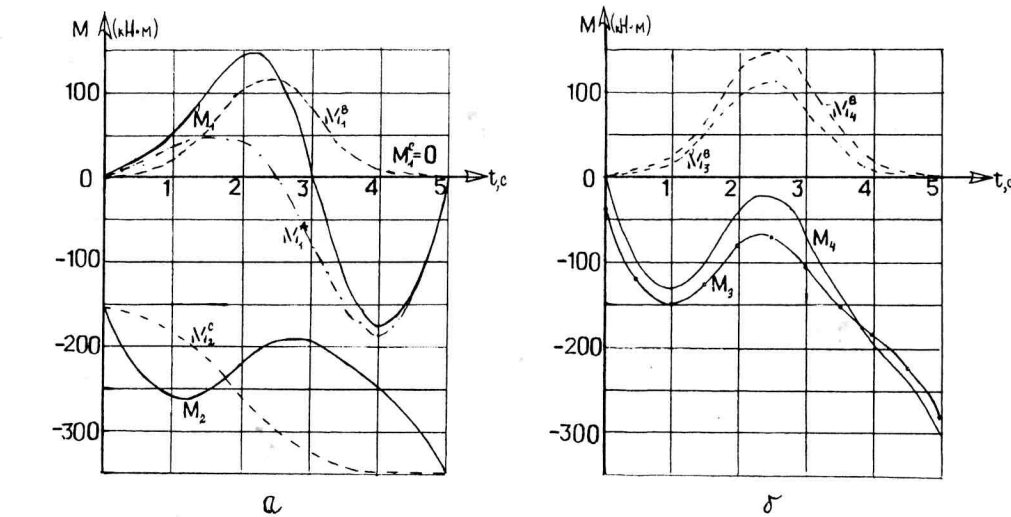


Рис. 3