

УДК 62-236.58:519.876.5

ПОСТРОЕНИЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО ПРОТОТИПА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ МАНИПУЛЯТОРОМ

Е.А. ЛИТВИНОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 21 ноября 2008

Рассмотрен параллельный манипулятор с шестью степенями свободы. Для заданной управляющей аппаратной части приведена концепция построения аппаратно-программного прототипа системы управления параллельным манипулятором в среде MATLAB/Simulink. Рассмотрены принципы аппаратно-программного моделирования системы управления в среде MATLAB/Simulink для выбранного отладочного процессорного модуля. Представленные в работе подходы и разработанные функциональные структуры управления отражают специфику аппаратно-программного моделирования в среде MATLAB/Simulink и могут быть непосредственно использованы при разработке систем управления подобными параллельными манипуляторами.

Ключевые слова: параллельный манипулятор, прототип системы управления, аппаратно-программное моделирование, MATLAB/Simulink, отладочный процессорный модуль.

Введение

Системы многокоординатных пространственных перемещений, построенные на базе параллельных манипуляторов, находят широкое применение в различных областях робототехники, при автоматизации технологических процессов в машиностроении и приборостроении [1]. Однако с повышением сложности математических моделей управления подобными системами перемещений и программных алгоритмов реализации данных моделей на аппаратных платформах процесс создания тестового образца прототипа системы управления от этапа исходного математического описания до аппаратного исполнения в значительной степени усложняется и возрастает по трудоемкости и временным затратам на проектирование, разработку и отладку. Традиционная концепция моделирования и разработки прототипов систем управления не позволяет быстро создавать оптимальную аппаратно-программную модель управления.

Моделирование при помощи современных средств MATLAB/Simulink предоставляет возможность полной интеграции всех этапов аппаратно-программного моделирования от создания оптимальной модели системы управления до ее запуска на заданном отладочном процессорном модуле. Реализовав аппаратно-программный прототип системы управления в среде MATLAB/Simulink, можно проводить непосредственное тестирование и отладку управляющих программ на физическом устройстве контроллера. При этом имеется возможность детального анализа системы управления, точной настройки регулятора системы управления, а также оптимизации синтезированной программы контроллера. Поэтому построение аппаратно-программного прототипа системы управления параллельным манипулятором в среде MATLAB/Simulink является наиболее быстрым и перспективным средством реализации данной задачи.

Объект системы управления

В качестве объекта управления в работе принят параллельный манипулятор с шестью степенями свободы, кинематическая схема которого представлена на рис. 1, а наглядное изображение — на рис. 2.

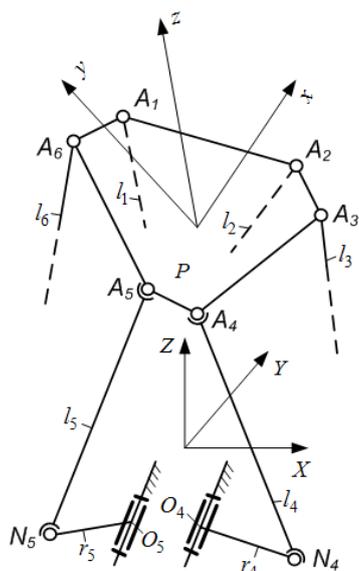


Рис. 1. Кинематическая схема параллельного манипулятора



Рис. 2. Фото параллельного манипулятора

Рассматриваемый параллельный манипулятор с шестью степенями свободы, в соответствии с его кинематической схемой (рис. 1), состоит из подвижной площадки P ($A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6$), звеньев r_1, r_2, \dots, r_6 , жестко связанных с вращающимися элементами двигателей $O_1, O_2, O_3, O_4, O_5, O_6$, которые, в свою очередь, посредством сферических шарниров и промежуточных шатунов l_1, l_2, \dots, l_6 связаны с площадкой P . Звенья r_1, r_2, \dots, r_6 являются входными, законы перемещения которых задаются непосредственно управляющими двигателями [2].

Методика проведения аппаратно-программного моделирования системы управления

Аппаратно-программное моделирование (Hardware-in-the-loop simulation) относится к методам моделирования в режиме реального времени. Целью аппаратно-программного моделирования является формирование всех электронных сигналов для детального тестирования контроллера. Аппаратно-программное моделирование позволяет проводить тестирование аппаратных компонентов и прототипов при подключении последних к программным моделям, выполняющим компьютерное моделирование какой-либо части системы. Физические компоненты системы или подсистемы реагируют на моделируемые сигналы так же, как если бы они были подключены к реальным системам. Такой подход также позволяет проводить тестирование подсистем, функционирующих в особых условиях, когда проведение эксперимента является дорогостоящим или невозможным.

В среде математического моделирования MATLAB/Simulink возможна полная интеграция всех этапов аппаратно-программного моделирования от создания математической модели до ее запуска на отладочном процессорном модуле [3]. Программный комплекс MATLAB/Simulink может широко использоваться для автоматического формирования управляющих программ систем управления. Программный код, генерируемый таким образом, может быть проанализирован и протестирован, а также использован непосредственно для генерации программного кода контроллеров систем управления.

Обобщенная структурно-функциональная схема, отражающая процесс аппаратно-программного моделирования в среде MATLAB/Simulink для построения прототипа системы управления параллельным манипулятором, приведена на рис. 3.

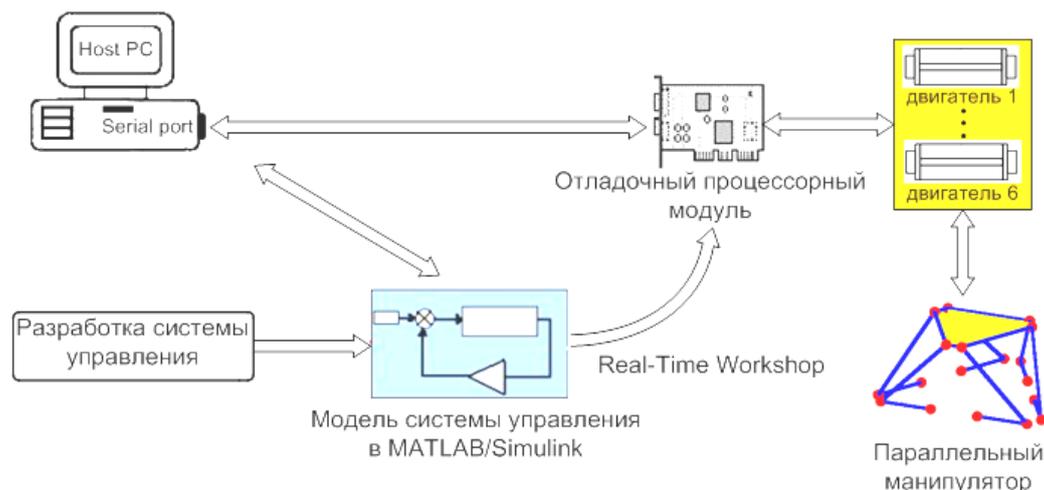


Рис. 3. Обобщенная структурно-функциональная схема аппаратно-программного моделирования средствами MATLAB/Simulink

В качестве отладочного модуля выбран отладочный процессорный модуль F2812eZdsp для исполнения, отладки и тестирования программных алгоритмов на физическом устройстве процессора TMS320F2812.

Для приведения в действие параллельного манипулятора в работе в качестве исполнительной силовой части выбраны шесть трехфазных асинхронных двигателей. Данный выбор обусловлен в первую очередь использованием параллельного манипулятора в целях симуляции движения с высокой динамикой и нагрузочными способностями [4].

В процессе аппаратно-программного моделирования системы управления параллельным манипулятором были использованы следующие средства:

- Real-Time Workshop — программное средство пакета MATLAB/Simulink для разработки систем реального времени, генерации исполняемого программного С кода исходной Simulink модели управления для заданной аппаратной платформы [5];

- Embedded Target for TI C2000™ DSP — программное средство MATLAB/Simulink для организации взаимодействия исходной Simulink-модели с программными интерфейсами выбранного микропроцессора;

- Code Composer Studio Integrated Development Environment (IDE) — интегрированная среда разработки фирмы Texas Instruments для создания, компиляции и компоновки программ для процессоров TI C2000;

- Link for Code Composer Studio™ Development Tools — программный инструмент MATLAB/Simulink, использующийся для интеграции взаимодействия между Embedded Target for TI C2000™ DSP и Code Composer Studio (IDE).

Аппаратно-программное моделирование по построению прототипа системы управления параллельным манипулятором в работе осуществлялось согласно следующим этапам:

- 1) построение математической модели управления параллельным манипулятором в среде MATLAB/Simulink;

- 2) симуляция модели управления параллельным манипулятором, оценка результатов ее работы и корректировка;

- 3) организация функционально-логического взаимодействия с аппаратной частью системы управления посредством выбора функциональных интерфейсов ввода/вывода, доступа к аппаратным ресурсам отладочного процессорного модуля F2812eZdsp и подключения к ним исходной Simulink-модели;

- 4) запуск процедуры Real-Time Workshop по построению и загрузке модели на аппаратную часть системы управления.

В ходе запуска процедуры Real-Time Workshop получен исполняемый программный С код исходной Simulink-модели управления для отладочного процессорного модуля F2812eZdsp. Полученный программный код может быть проанализирован и протестирован в среде Code Composer Studio IDE.

Реализация аппаратно-программного прототипа системы управления

Обобщенная структура аппаратно-программного прототипа системы управления параллельным манипулятором в среде MATLAB/Simulink приведена на рис. 4.

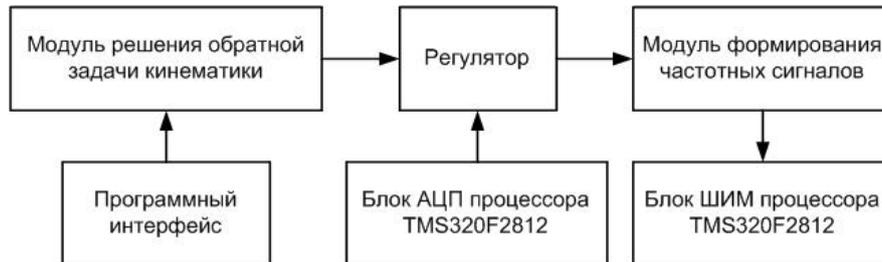


Рис. 4. Структура аппаратно-программного прототипа системы управления

Программный интерфейс (рис. 4) в структуре аппаратно-программного прототипа системы управления предназначен для ввода заданных координат положения (x, y, z) и ориентации (ψ, θ, φ) мобильной платформы и передачи их как параметров на вход модуля решения обратной задачи кинематики. Модуль решения обратной задачи кинематики осуществляет поиск значений углов поворота $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_6$ входных управляющих элементов параллельного манипулятора, которые обеспечивают заданное положение и ориентацию платформы в пространстве. Блок АЦП процессора TMS320F2812 осуществляет считывание и преобразование сигналов от шести датчиков положения поворотных управляющих элементов манипулятора. Непосредственно в Simulink-модели аппаратно-программного прототипа системы управления функциональный блок АЦП представлен интерфейсным графическим элементом C28x ADC (рис. 5).

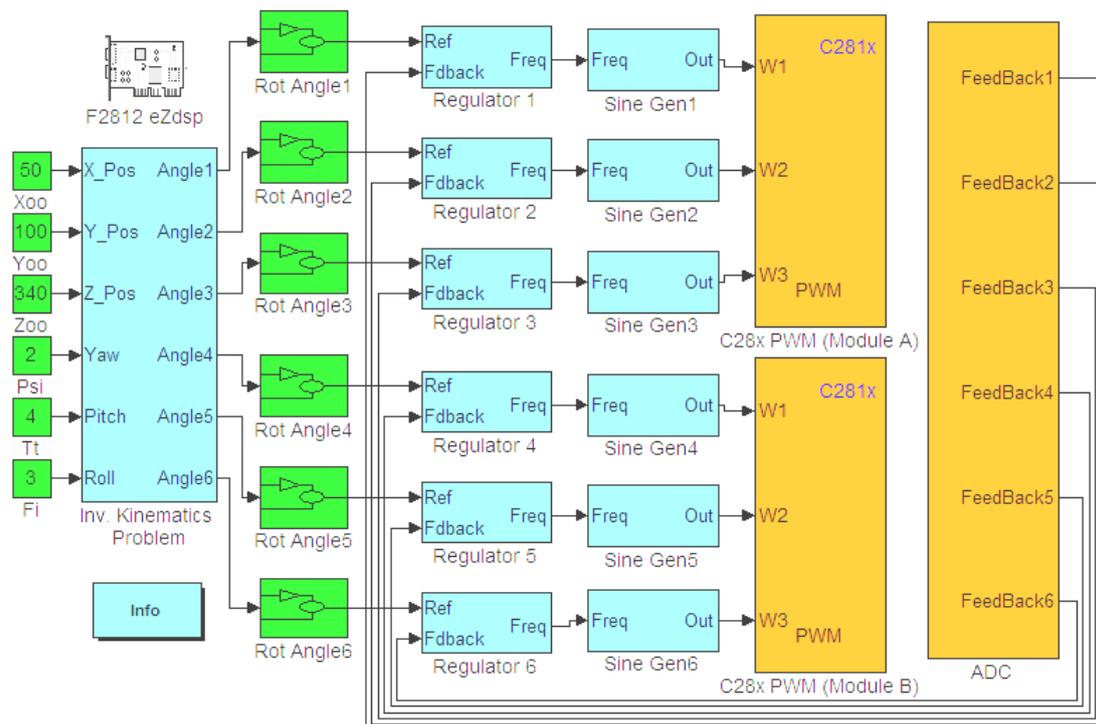


Рис. 5. Реализация аппаратно-программного прототипа системы управления в среде MATLAB/Simulink

Рассчитанные значения углов поворота $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_6$ и сигналы от датчиков положения подаются на соответствующие регуляторы. Всего в аппаратно-программной модели управления имеется шесть регуляторов (по одному на каждый управляемый двигатель). Непосредственная реализация одного регулятора в среде MATLAB/Simulink приведена на рис. 6.

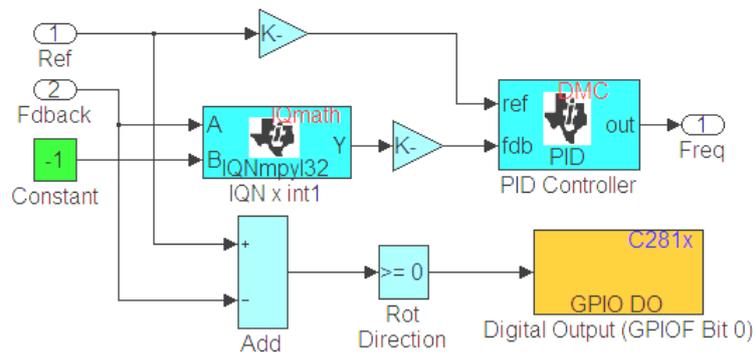


Рис. 6. Реализация регулятора в среде MATLAB/Simulink

Сигнал Ref (угол поворота σ_i) и сигнал Fdbck (соответствующий канал АЦП) подаются на входы ПИД-регулятора (PID Controller). Выходом ПИД-регулятора является регулируемое значение относительной частоты Freq (рис. 6). Регулятор, представленный на рис. 6, определяет также направление задаваемого вращения путем анализа разностного сигнала с выхода сумматора Add. Полученное битовое значение (ноль либо единица) выводится в порт ввода/вывода общего назначения GPIOF процессора TMS320F2812. Порт ввода/вывода общего назначения GPIOF в регуляторе представлен интерфейсным графическим элементом Digital Output (GPIOF Bit 0).

Выходной сигнал каждого регулятора подается на вход модуля формирования частотных сигналов, осуществляющего формирование в памяти процессора синусоидального сигнала заданной частоты, амплитуды и амплитудного сдвига. Всего в аппаратно-программном прототипе системы управления параллельным манипулятором имеется шесть модулей формирования частотных сигналов. Реализация в среде MATLAB/Simulink одного модуля формирования частотных сигналов представлена на рис. 7.

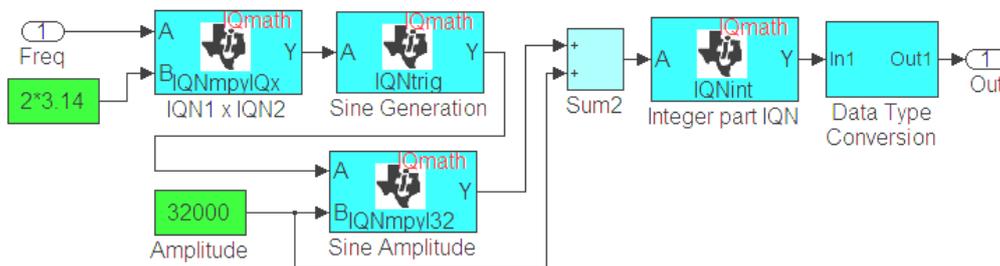


Рис. 7. Реализация модуля формирования частотных сигналов в среде MATLAB/Simulink

Аппаратно-программная модель управления приводами многокоординатной системы перемещений имеет два модуля ШИМ процессора TMS320F2812 (рис. 5): C28x PWM (Module A) и C28x PWM (Module B). Каждый модуль ШИМ способен одновременно формировать до трех независимых ШИМ-сигналов, что позволяет обеспечить одновременное управление шестью двигателями.

Заключение

В работе рассмотрено построение аппаратно-программного прототипа системы управления параллельным манипулятором. Приведенный краткий анализ манипулятора показал особенности управления мобильной платформой параллельного механизма при помощи шести поворотных двигателей. Рассмотрена концепция проведения аппаратно-программного моделирования в среде MATLAB/Simulink для построения имитационной модели управления параллель-

ным манипулятором, выявлены особенности и преимущества данного подхода. Как результат, в среде MATLAB/Simulink реализован аппаратно-программный прототип системы управления параллельным манипулятором, который может использоваться для автоматического формирования управляющей программы системы управления. Программный код, генерируемый таким образом, может быть проанализирован и протестирован, а также использован непосредственно для генерации программного кода контролера TMS320F2812 системы управления.

THE HARDWARE-IN-THE-LOOP PROTOTYPE DEVELOPMENT OF CONTROL SYSTEM FOR PARALLEL MANIPULATOR

Y.A. LITVINAU

Abstract

The 6-DOF parallel manipulator has been considered. The concept of the hardware-in-the-loop prototype development of control system for parallel manipulator in MATLAB/Simulink environment has been outlined. The hardware-in-the-loop simulation concept of control system for specified debug processor platform has been considered. The approaches presented in the paper and developed functional control structures reflect the specificity of MATLAB/Simulink hardware-in-the-loop simulation and can be immediately deployed for similar parallel manipulators' control systems development.

Литература

1. Bonev I.A. Geometric Analysis of Parallel Mechanisms, thèse de doctorat, Université Laval, Québec, QC, Canada, novembre 2002. // <http://www.gpa.etsmtl.ca/prof/ibonev/ThesisBonev.pdf>.
2. Литвинов Е.А., Жарский В.В., Дайняк И.В., Ареби М.А. // Докл. БГУИР. 2007. № 6. С. 50–55.
3. Кетков Ю.Л., Кетков А.Ю., Шульц М.М. // MATLAB 7: программирование, численные методы. СПб., 2005.
4. Litvinau Y., Karpovich S., Ahranovich A. // Computer science meets automation: 52. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium; proceedings; 10-13 September 2007 / Faculty of Computer Science and Automation, [Technische Universitaet Ilmenau. Hrsg.: Peter Scharff]. - Ilmenau, 2007. Vol. I. P. 477–482.
5. MATLAB. The Language of Technical Computing. The MathWorks, Inc., MA.: Natick, 2004.