

Н.П. ДЕМЕНКОВ (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Модельно-ориентированное проектирование систем управления

Обсуждается способ проектирования современных систем управления, в основе которого лежит метод модельно-ориентированного проектирования в рамках единой среды разработки на платформе MATLAB/Simulink,

A method for modern control systems design using model-oriented design technique in the integrated development environment on MATLAB/Simulink platform is discussed.

В конце мая 2008 г. компания Softline (Россия) и корпорация MathWorks (США) провели семинар "MATLAB и Simulink для проектирования и разработки систем управления", в котором приняли участие разработчики систем управления, инженеры-электронщики, программисты.

Проблемы разработки современных систем управления для различных электронных, электромеханических и гидравлических устройств непосредственно связаны с задачами моделирования реальных физических объектов, с проектированием систем управления, с тестированием и созданием рабочих прототипов. Создание телеметрических систем также сопряжено с решением целого ряда сложных задач: от разработки алгоритмов кодирования, модуляции и фильтрации до оптимизации каналов связи, протоколов передачи данных и их программной реализации на DSP-процессорах или FPGA.

Все более жесткие требования к срокам проектирования, политические и экономические требования, возрастающая сложность проектов и необходимость совместной работы различных групп проектировщиков и инженеров, разнообразные программные инструменты, письменная документация, связь между главным исполнителем и подрядчиками, сложная цепочка поставок, миграция к COTS, сертификация ПО и растущая важность электроники и ПО заставляют компании искать различные решения.

Трудности традиционного подхода к проектированию систем управления заключаются в том, что на этапе составления требований и спецификаций используемые текстовые документы несовершенны при итеративном подходе, физические прототипы на этапе проектирования также несовершенны, сложны и дороги; на этапе реализации при ручной разработке применение других программных средств и человеческие ошибки делают процесс ненадежным, а на этапе проверки традиционное тестирование приводит к обнаружению ошибок лишь в конечной стадии разработки ПО.

Компания MathWorks предлагает новый метод для решения всего комплекса перечисленных задач в рамках единой среды разработки на платформе MATLAB/Simulink - модельно-ориентированное проектирование. Этот метод объединяет в непрерывный рабочий процесс разные этапы разработки системы, такие как формирование спецификаций и системных требований, имитационное моделирование, разработка системы, отладка и тестирование. Модельно-ориентированное проектирование помогает координировать работу различных групп разработчиков и позволяет выявлять ошибки на ранних стадиях, значительно сокращая время разработки и повышая эффективность проектирования.

Инженер Центра компетенций MathWorks поздравил слушателей на семинаре с концепцией модельно-ориентированного проектирования и подробно остановился на специальных средствах моделирования и проектирования систем управления.

Основные возможности модельно-ориентированного проектирования при проектировании встраиваемых систем на микроконтроллерах:

- разработка моделируемых спецификаций;
- проектирование и моделирование динамически систем с компонентами различной физической природы:
- автоматическое генерирование кода;
- непрерывное тестирование и верификация.

При применении модельно-ориентированного проектирования, когда строгая спецификация представлена в виде модели в дополнение к текстовым требованиям, используется один и тот же набор моделей для всего коллектива, а также полная модель всей системы и внешних условий; использование функциональных диаграмм обеспечивает раннее обнаружение ошибок ;: разработку тестов.

Автоматическая генерация кода обеспечивает отсутствие ошибок ручного кодирования, генерацию кода для конкретных платформ, широкие возможности для циклического тестирования, связь между физической моделью, аппаратным и программным обеспечением.

Для реализации модельно-ориентированного проектирования компания MathWorks использует MATLAB, Simulink, Stateflow и Real-Time Workshop.

Пакеты MATLAB и Simulink обеспечивают системный подход к моделированию, реализуют компоненты различной физической природы, графическую среду, интерактивность, иерархию моделей, разработку алгоритмов, анализ и обработку данных, имитационное моделирование, а также модель как "исполняемую спецификацию".

Пакет Stateflow применяется для проектирования и имитации конечных автоматов и управляющей логики, моделирования сложных логических выражений внутри Simulink-моделей в тесной интеграции с MATLAB и Simulink, обеспечивая единое пространство для проектирования систем.

Технология MathWorks для автоматической генерации кода включает Real-Time Workshop для автоматической генерации кода из Simulink, для интерактивной работы и отладки, xPC Target, обеспечивающий проверку на прототипах в режиме реального времени и аппаратной проверки на основе персонального компьютера, Real-Time Workshop Embedded Coder, генерирующий высокоэффективный код, который может быть подогнан так, чтобы выглядеть как код, написанный вручную, и Target Support Packages, облегчающий применение автоматически созданного кода на целевых процессорах.

Пакеты Real-Time Workshop и Real-Time Workshop Embedded Coder делают возможным применение автоматически созданного кода на любом микропроцессоре, так как они генерируют стандартный C (ANSI/ISO-C).

Моделируемые спецификации обеспечивают отсутствие двусмысленности, тесное взаимодействие команды разработчиков, компонентное моделирование, определение входных и выходных параметров систем, моделирование на требуемом уровне детализации и автоматическое документирование.

Проектирование совместно с моделированием позволяет выполнить моделирование от математических уравнений до эмпирических данных, компонентов различной физической природы (механики, электричества, СВЧ, событийно-управляемых систем, пользовательских компонентов), использовать интегрированные средства разработки законов управления, IEEE-стандарт с плавающей точкой и точное моделирование систем с фиксированной точкой.

Автоматическая генерация кода обеспечивает генерацию ANSI/ISO-C-кода из моделей Simulink для применения в конечном продукте и ускорения имитации (для микропроцессоров, DSP), а также быстрого создания прототипов и тестирования в аппаратном режиме.

Тестирование и верификация осуществляются на основе технических требований, прослеживаются требования в коде, осуществляется непрерывное тестирование в процессе имитационного моделирования, создания прототипов, программ, на уровне микроконтроллера и аппаратном уровне.

На практическом примере было продемонстрировано решение следующих задач:

- создание исполняемых спецификаций на основе моделей Simulink;
- моделирование физического уровня систем управления;
- проектирование закона управления следящего электропривода авиационной управляющей поверхности;
- моделирование протоколов высокого уровня;
- проектирование систем с фиксированной точкой;
- разработка и программно-аппаратное тестирование C- и HDL-кода для встроенных систем.

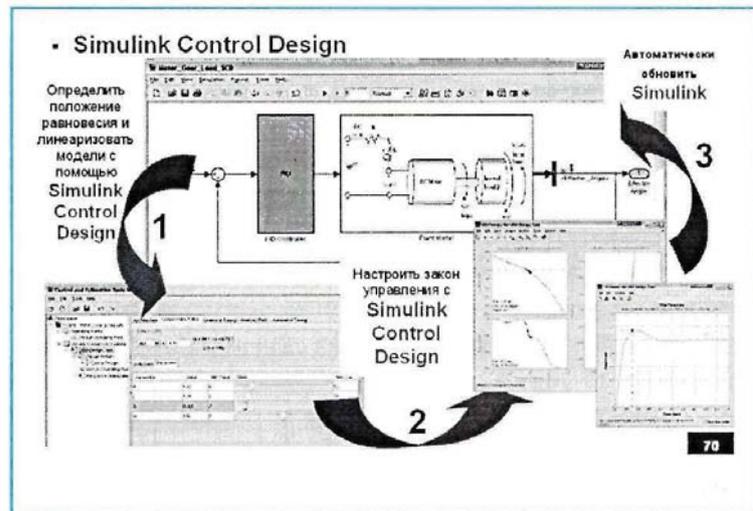


Рис. 7. Simulink Control Design

В качестве примера был взят электрический привод для авиационной управляющей плоскости. Требуется улучшить существующий привод управляющей поверхности беспилотного летательного аппарата. Решено использовать электродвигатель постоянного тока. Необходимо спроектировать, протестировать и реализовать систему управления для электропривода постоянного тока. Требуется использовать новую модель в имитационной модели всего летательного аппарата.

Организация работы над проектом при модельно-ориентированном проектировании состоит из следующих этапов концепции дизайна "V":

- определения требований;
- моделирования систем и подсистем;
- проектирования закона управления и имитации;
- реализации;
- проверки и тестирования.

При определении требований различают определение системных требований и требований к подсистемам.

На этапе *моделирования систем и подсистем* моделировались электродвигатель с редуктором, аэродинамическая нагрузка, поведение разомкнутой системы, и проводилась оценка параметров. При *моделировании динамических систем* в Simulink использовались специализированные пакеты SimMechanics, SimDriveline, SimPowerSystems, Aerospace Blockset, Estimation и др. При *информационном моделировании* использовались Toolbox Neural Network, System Identification и др. При *моделировании инженерных компонентов* проверялись модели: скорость без нагрузки; механическая постоянная времени; кривая зависимости силы/момента; аэродинамическая нагрузка.

Проектирование закона управления и имитация предполагают линеаризацию системы, построение закона управления и его дискретизацию, оптимизацию поведения системы и апробацию на быстром прототипе.

Для определения положения равновесия, линеаризации и проектирования закона управления использовался графический интерфейс Simulink Control Design (рис. 1).

Логика режимов работы системы управления моделировалась с помощью Stateflow.

При традиционном процессе подготовки аппаратуры необходимо написать драйвер для устройства, найти пример кода, модифицировать пример, написать тестовый образец и отладить код, повторить перечисленные операции для другого устройства и т. д. Далее подсоединить устройство к тестовому аппарату и, наконец, начать тестирование.

При традиционном процессе подготовки ПО необходимо исследовать операционные системы реального времени, вручную написать код для приложения, выполняющего закон управления, научиться подсоединять существующее приложение, вставить код драйвера и отладить приложение.

При использовании xPC Target Windows и модуля Math Works работают на хост ПК, целевой ПК выполняет С-код, сгенерированный Real-Time Workshop (RTW). Тестирование и проверка осуществляются в режиме реального времени, обеспечивается быстрое прототипирование законов управления, используются приложения с включением оборудования в модель. Применяется многозадачное ядро жесткого реального времени (-100 кГц). Мониторинг работы и настройка параметров выполняются в режиме реального времени. Сообщение между целевым ПК и хост ПК осуществляется через Ethernet или протокол RS-232.

Пакет RTW генерирует модули С-кода. Далее осуществляется компиляция сгенерированного С-кода и других статических С-модулей и связывание скомпилированных модулей в библиотеку Dynamic Linked Library (DLL). После этого осуществляется трансформация DLL в целевое приложение для xPC ядра и загрузка целевого приложения в целевой ПК.

Для быстрого прототипирования законов управления используется xPC TargetBox (рис. 2).

Пакет Real-Time Workshop Embedded Coder поддерживает и расширяет возможности Real-Time Workshop (рис. 3).

Используются один генератор кода для различных применений, быстрое прототипирование, аппаратно-программное тестирование, встроенный код.

Продукты Real-Time Workshop Embedded Targets используются для встроенных микропроцессоров: Motorola® MPC555, Infineon C166®, TI C6000™ DSP, TI C2000™ DSP, что облегчает применение кода вследствие быстрого прототипирования на целевом микропроцессоре, процессорно-программного тестирования и развертывания в массовой продукции.

При проверке и тестировании применяется программное, процессорно-программное и аппаратно-программное тестирование. Основывается на требованиях, задание группы входных сигналов выполняется с помощью Signal Builder, а задание ожидаемого поведения выходов - с помощью блоков проверки (assertion blocks).

На рис. 4 показана схема программного тестирования (Software-in-the-Loop).

При таком решении откомпилированный и сгенерированный С код для локальной операционной системы (например, Windows DLL) затем выполняется в имитационной модели. Для программного (SIL) тести-

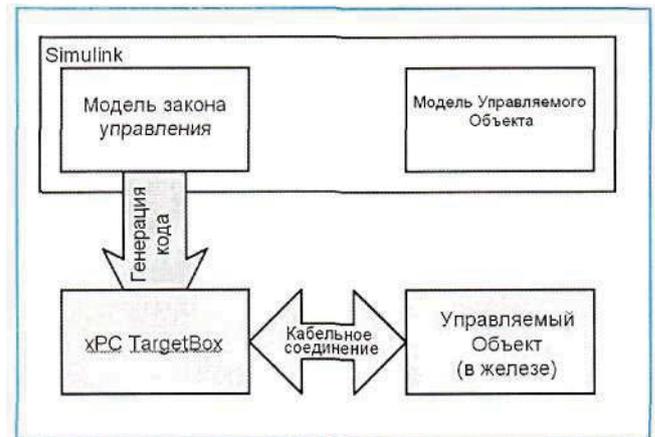


Рис. 2. Использование xPC TargetBox



Рис. 3. Real-Time Workshop Embedded Coder

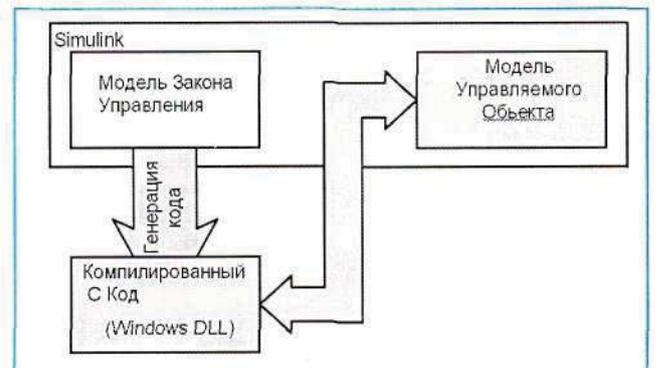


Рис. 4. Программное тестирование (Software-in-the-Loop)

рования Real-Time Workshop Embedded Coder используется, чтобы автоматически создать С MEX S-function оболочку, вызывающую код, созданный Real-Time Workshop Embedded Coder, а также, чтобы создать блок с S-функцией, готовый для использования с другими блоками или моделями.

Схема процессорно-программного тестирования (Processor-in-the-Loop) приведена на рис. 5.

Процессорно-программное тестирование (PIL) - метод для оценки эффективности тестируемой системы управления на целевом процессоре, выбранном для проекта. В Simulink поддерживается с помощью The Embedded Target for Motorola MPC555. Откомпилированный сгенерированный С-код загружается на целевой процессор и затем выполняется на процессоре в коммутации с Simulink.

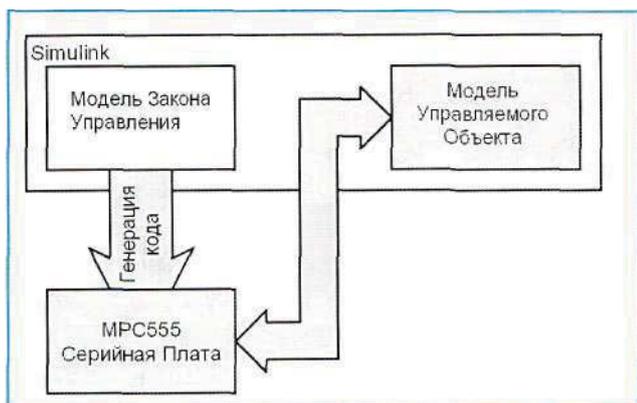


Рис. 5. Процессорно-программное тестирование (Processor-in-the-Loop)

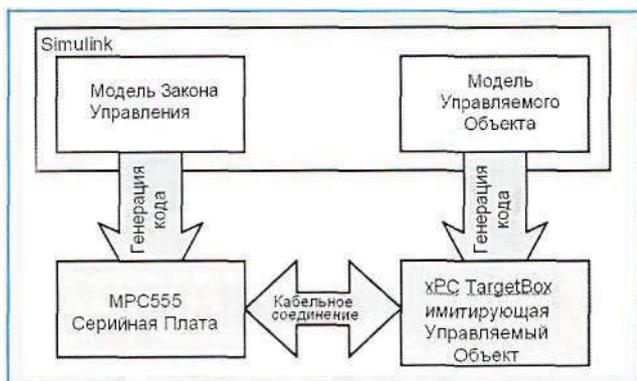


Рис. 6. Программно-аппаратное тестирование (Hardware-in-the-Loop)

Схема программно-аппаратного тестирования (Hardware-in-the-Loop) показана на рис. 6.

Отчеты о проведенном тестировании и проверке создаются в форматах HTML, PDF и DOC.

Преимущества модельно-ориентированного проектирования:

- снижается себестоимость за счет минимизации использования прототипов, облегчается повторное использование наработок в других проектах;
- сокращаются сроки проектирования за счет более быстрого ввода в производство и улучшения обмена информацией между группами;

• улучшаются эксплуатационные качества, что способствует инновациям и улучшает качество.

Компания Nissan Motor Co., LTD, используя продукты MathWorks для проектирования при создании системы уменьшения выхлопа, сертифицированной по California Air Resources Board (CARB) для стандарта Partial Zero Emission Vehicle (PZEV), сократила время разработки на 50 %, уменьшила число датчиков и получила премию от управления по охране окружающей среды (США).

Компания АВВ также применила продукты корпорации MathWorks для проектирования разработки и проверки ПО системы управления силовых электронных блоков управления АС 800РЕС для силовых преобразователей. В результате время и стоимость разработки сократились, процесс разработки стал более эффективным, качество генерируемого кода заметно повысилось.

В учебно-научном центре "Интеллектуальные системы" при МГТУ им. Н.Э. Баумана (www.iul.bmstu.ru) активно занимаются внедрением промышленных систем управления на основе отечественных и зарубежных контроллеров и SCADA-систем. Как правило, объект управления реализуется в MATLAB или SCADA-системе, а закон управления - в контроллере. Обмен данными осуществляется через OPC. Появление модельно-ориентированного проектирования расширяет возможности реализации систем управления и ускоряет процесс проектирования. Центр регулярно осуществляет подготовку и переподготовку специалистов для работы на промышленных контроллерах компаний Schneider Electric, ОАО "ЗЭИМ" и "МЗТА", ООО "Овен" и "Fastwel". Программы курсов обучения рассчитаны на различный уровень подготовки слушателей. С ними можно ознакомиться на сервере www.iul.bmstu.ru.

Николай Петрович /деменков — канд. техн. наук, руководитель учебно-научного центра "Интеллектуальные системы" при МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Телефон (499) 263-67-27.

E-mail: demenkov@iu1.bmstu.ru

hup:/1 www. iu 1. bmstu. ru