



ДУГ ДЖОНС (DOUG JONES)
БРАЙАН МАККАЙ (BRIAN MCKAY)
ПЕРЕВОД: ЮРИЙ ОРЛОВ
MathWorks

МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ ДО РЕАЛИЗАЦИИ В АППАРАТУРЕ

Проектировщики систем управления, использующие традиционный процесс разработки, не могут проверять свои проекты, пока двигатели и другая аппаратура системы управления не будут реализованы «в железе» (обычно это происходит на поздних этапах процесса проектирования и создания системы управления). Напротив, модельно-ориентированное проектирование (МОП) позволяет уже на ранней стадии разработки начать проверку и тестирование с моделями этих компонентов, экономя время, уменьшая затраты и улучшая качество системы в целом и точность работы.

В традиционном рабочем процессе инженеры чаще всего не могли проверять и выполнять тестирование своих проектов систем управления до наступления поздних циклов разработки, когда двигатели, датчики, приводы и другая системная аппаратура наконец становятся доступными. Этот подход оправдывал себя, когда ожидаемая логика работы системы была предсказуемой. Возникающие проблемы очень часто разрешались путем усложнения и настройки системы управления во время заключительной системной интеграции.

Для сегодняшних сложных систем традиционный рабочий процесс уже мало пригоден. Когда на поздних стадиях проекта обнаруживаются проблемы, то обычно для их решения требуются сложные и затратные по времени изменения проекта, которые приводят к дорогостоящей модификации аппаратных средств. Дополнительно растущие требования и сложность проектов систем управления мешают проверять систему во всех возможных рабочих условиях. Поэтому необходимы новые методы проверки.

МОП предоставляет инженерам возможность выполнять моделирование объекта управления, тестировать логику системы управления

и алгоритмы на ранних стадиях процесса разработки, когда еще можно просто и недорого исправить ошибки.

МОП позволяет:

- быстро оценивать множество стратегий управления и оптимизировать логику работы системы;
- находить ошибки прежде, чем двигатели и другая аппаратура будут изготовлены;
- использовать моделирование для проверки всего диапазона рабочих условий;
- использовать модели повторно для тестирования в реальном времени.

СРАВНЕНИЕ ТРАДИЦИОННОГО РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛЬНО- ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

На рис. 1 показан традиционный рабочий процесс, где спецификации и требования представлены в форме печатного издания или документа. Подсистемы, включая механическую, электронную, управления и программное обеспечение разработаны независимо друг от друга, обычно при помощи

использования различных средств проектирования непосредственно из документации. В таком процессе тестирование системы выполняется на поздних циклах проектирования, как правило, во время заключительной интеграции и сборки. Только на этом этапе инженеры могут наблюдать за взаимодействием между физическими компонентами системы и системой управления.

Этот подход мог бы быть приемлем для простых систем, где ожидаемую логику работы компонента или подсистемы легко предсказать. Однако системные инженеры постоянно добавляют функции, и взаимодействие подсистем становится уже более сложным, что увеличивает вероятность появления ошибок. Далее риски складываются, поскольку требования к рабочим характеристикам, к деталям реализации и условиям испытания для каждого компонента — механического, гидравлического, системы управления и программного обеспечения — устанавливаются независимо. Эти различия приводят к противоречивым, двусмысленным требованиям во время проектирования или к проведению неполных или ненужных тестов.

Если ошибка не была обнаружена на ранней стадии в процессе проек-

тирования, то сложное взаимодействие между подсистемами может помешать поиску ее первопричины. Ошибки, связанные с неполными, неправильными или противоречивыми требованиями могут даже повлечь за собой фундаментальное изменение проекта.

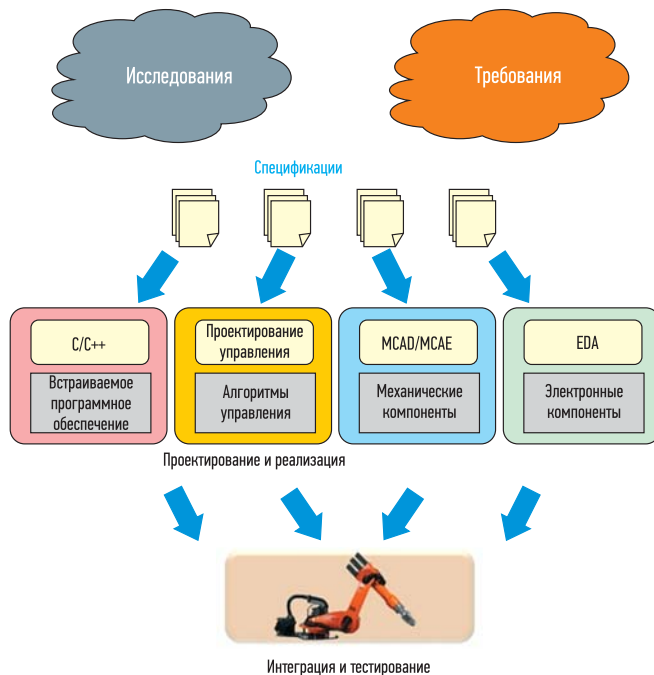
ИСПОЛНЯЕМАЯ СПЕЦИФИКАЦИЯ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ОШИБОК

МОП смягчает эти проблемы, позволяя выполнять моделирование и раннее тестирование. В этом случае тестирование больше не рассматривается как заключительный шаг. Вместо этого оно становится непрерывным процессом, который начинается с моделирования работы проектируемой системы и переходит в тестирование в реальном времени (рис. 2).

МОП позволяет системным инженерам создавать математические модели системы управления и объекта управления, включающие механические, электрические, гидравлические и другие физические компоненты. Модель, связанная с требованиями к проекту, становится исполняемой спецификацией, уменьшая двусмысленность требований и минимизируя риск ошибок проектирования.

Кроме того, МОП предоставляет единую платформу для проектирования и тестирования. У инженеров есть наглядное, графическое представление системы, служащей общей средой для проектировщиков из различных дисциплин. Инструменты для МОП также облегчают повторное использование существующих проектов и технических данных, предоставляя связи с инструментами CAE, такими как системы автоматизированного проектирования (Computer-Aided Design, CAD), системы анализа методом конечных элементов (Finite Element Analysis, FEA) и инструменты эмуляции электрических цепей, такие как программа симуляции, предназначенная для интегральных схем (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis, SPICE).

Доступность исполняемой спецификации помогает инженерам систем управления понимать взаимодействие между контроллерами, двигателями и машинами,



что приводит к осознанию путей улучшения системы управления. Вместо проектирования в соответствии с изначально неопределенной бумажной спецификацией, проектировщики могут экспериментировать с моделью, запускать симуляции и быстро реализовывать

изменения в проекте. Это облегчает раннюю идентификацию проекта системы управления, что приводит к улучшению рабочих характеристик при удовлетворении требований по предельным характеристикам мотора и ограничений машины.

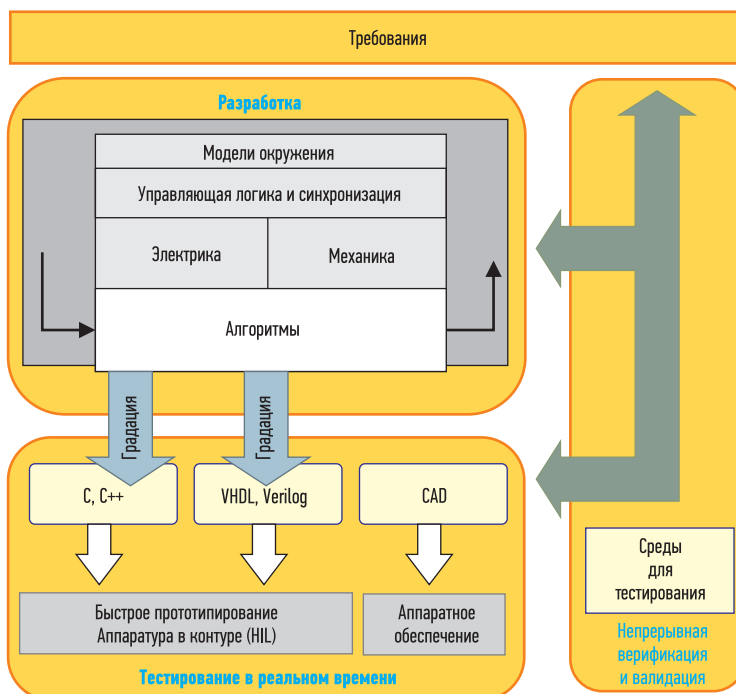
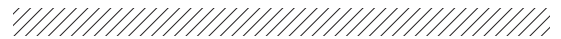


РИС. 1. В традиционном рабочем процессе проектирования верификация выполняется в конце процесса проектирования, когда сложно и дорого вносить изменения

РИС. 2. практики МОП верификации и валидации, которые начинаются на стадии проектирования и переходят к тестированию в реальном времени



ТЕСТИРОВАНИЕ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Тестирование в реальном времени — это процесс запуска, испытания и тестирования интегрированного аппаратного/программного проекта системы в нормальных режимах работы. В МОП те модели, которые использовались в моделировании, могут использоваться для тестирования на следующем шаге, при выполнении тестирования в реальном времени. Две наиболее распространенные стратегии — быстрое прототипирование управляющей логики и алгоритмов и моделирование типа «аппаратное средство в контуре» (hardware-in-the-loop).

При быстром прототипировании управляющей логики исполняемое приложение генерируется из модели системы управления и тестируется на вычислительной платформе реального времени, подключаясь к физическим двигателям и аппаратуре машины. Поскольку есть прямая связь между проектом (моделью) и реализацией (испол-

няемое приложение) то становится довольно просто убрать неточности проекта системы управления, идентифицированные во время тестирования в реальном времени. Инженеры могут даже запускать те же самые тесты, которые проводились во время симуляции на ПК.

Быстрое прототипирование управляющей логики может также помочь выделить ошибки аппроксимации или неточности модели объекта управления (двигателя и машины), используемой во время симуляции, что позволяет совершенствовать системную симуляцию. Как только проект управляющей логики проверен посредством тестирования в реальном времени, инженеры могут повторно использовать модель посредством генерации кода для реализации проекта во встраиваемой или производственной аппаратуре управления.

При моделировании типа «аппаратура в контуре» производственный контроллер проверяется совместно с моделированием работы объек-

та управления в реальном времени (двигатели и машина). Эта возможность полезна в случаях, когда доступ к реальной системе ограничен или недоступен: например двигатели, подключенные к большим машинам.

ПРЕИМУЩЕСТВА МОДЕЛЬНО- ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Используя механизмы моделирования, раннего тестирования и тестирования в реальном времени, МОП позволяет сократить и удешевить циклы проектирования и помогает проектировщикам создавать более надежные системы управления и системы управления с лучшими рабочими характеристиками для применений управления двигателями. Поскольку системы управления становятся все более и более сложными, со временем проверка проекта до реализации в аппаратуре станет не только передовой практикой, но и станет обязательной. ●