

РЕШЕНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ В МАШИНОСТРОЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ И ГРИД-ТЕХНОЛОГИЙ

А.М. Криштофик, С.В. Медведев

Введение

Буквально во всех отраслях промышленности (от авиационно-космической до производства бытовой техники) наблюдается устойчивая тенденция расширения возможностей и повышения функциональных характеристик разрабатываемых изделий, в том числе за счет их усложнения. Это естественное следствие конкурентной борьбы за потребителя. Понятно, что чем сложнее изделие и чем шире его возможности, тем больше времени и средств необходимо на его разработку, испытания, доводку до требуемой надежности, тем дороже выполнение гарантийных обязательств. В то же время конкурентная борьба вынуждает предприятия при производстве новых изделий всемерно сокращать длительность цикла “разработка – испытания – доводка – запуск в производство”, что может привести к выпуску неконкурентоспособного изделия и/или чрезмерно повысить стоимость комплекса работ по выводу на рынок новой продукции.

Решение инженерных задач в машиностроении

Постоянно ведущиеся поиски путей разрешения противоречия между усложнением и удорожанием процесса разработки и запуска в производство новых изделий и необходимостью экономии времени и средств привели к массовому использованию компьютерного моделирования и инженерных расчетов при создании продукции самого разного применения. Отвечая на запросы предприятий-заказчиков, компании – разработчики компьютерного обеспечения предлагают в настоящее время широкий спектр программ для расчета и анализа изделий с определенных точек зрения (общая прочность, динамика, безопасность и т.п.). При разработке проекта любой технической системы, будь то газотурбинный двигатель, летательный аппарат или автомобиль, конструктор осуществляет одну и ту же последовательность действий: разработка базовой концепции проекта; интеграция комплекса математических моделей для расчета основных показателей эффективности; оценка множества альтернативных вариантов для удовлетворения предъявляемым требованиям.

Укрупненный алгоритм расчета типичной инженерной задачи включает в себя следующие основные этапы:

- предварительный анализ задачи;
- препроцессинг (CAD – технологии);
- решение (CAE – технологии);
- постпроцессинг (анализ и оценка);
- испытания (CAT – технологии).

На этапе предварительного анализа задачи необходимо определить тип решаемой задачи и что необходимо моделировать для решения задачи. Большинство решаемых инженерных задач можно отнести к одной из следующих дисциплин:

- прочность (движение твердых тел, давление на твердые тела, контакт твердых тел);
- тепло (нагревание, высокие температуры, изменение температур);
- электромагнетизм (устройства под действием постоянного или переменного тока, электромагнитные волны, возбуждение напряжений или заряда);
- жидкость (движение жидкости или газов в ограниченном объеме (баке));
- газодинамика (движение объекта в воздушном (жидкостном) потоке);
- мультифизика (любая комбинация вышеперечисленных дисциплин);
- связанные задачи.

Выбор дисциплины осуществляется в зависимости от разрабатываемого изделия. Использование технологии решения связанных задач позволило ввести в практику работы предприятий термин “виртуальные испытания” (virtual tests).

На этапе препроцессинга создается геометрическая модель, производится построение конечно-элементной сетки, задаются свойства материала и прикладываются усилия. При этом, как правило используются программные продукты SolidWorks, Solid Edge, Catia, Pro/ENGINEER, Unigraphics NX и др. Геометрическая модель может создаваться как в пределах одной CAD/CAM/CAE, так и с помощью нескольких программных продуктов. В этом случае геометрическая модель может быть импортирована.

После создания конечно-элементной модели задаются свойства материала и атрибуты элементов в зависимости то проводимого анализа. Свойства материала можно выбрать из библиотеки материалов пакета или задать вручную.

На основе исходных данных с помощью вычислительных ресурсов и прикладных пакетов CAE, установленных на данных вычислительных ресурсах выполняется инженерный расчет, соответствующий этапу «РЕШЕНИЕ».

На этапе постпроцессинга необходимо интерпретировать результаты относительно допущений, сделанных при моделировании и решении. Далее предстоит принять конструкторские решения на основе этих результатов, поэтому следует не только просмотреть результаты, но также убедиться в их обоснованности.

Каждый этап данного алгоритма осуществляется отдельной подсистемой со сложным пользовательским и программным интерфейсом. Для решения общей задачи требуется организация взаимодействия между подсистемами, отвечающими за отдельные этапы технологического цикла.

В результате получается цифровая модель изделия. На основании цифровой модели изготавливается прототип изделия. Следующим шагом является проведение испытаний разработанного изделия (CAT-технология). CAT - Computer-Aided Testing system - автоматизированная испытательная система, обеспечивающая проведение диагностирования (контроля, испытаний) с применением автоматизированных систем и участия человека. Система испытаний представляет собою многомашинный программно-аппаратный комплекс. В современных GRID и суперкомпьютерных технологиях CAT системы интегрируются с системами инженерного анализа CAE и широко используются в зарубежном автомобилестроении.

Однако в последнее время между прогрессом в разработке все более совершенных компьютерных технологий инженерного анализа и вектором развития основных бизнес-процессов предприятий образовалось определенное несоответствие. Дело в том, что “разобщенность” программных систем для инженерного анализа приводит к невозможности моделирования различных физических процессов и одновременного воздействия различных физических факторов, действующих на исследуемый объект. Данное обстоятельство не соответствует ожиданиям компаний-разработчиков наукоемкой продукции, делающих ставку на эффективное применение новейших технологий компьютерного моделирования и инженерного анализа. Все более насущной становится задача решения связанных задач. Это привело к необходимости доработки существующих программных систем инженерного анализа. Примером такого подхода является возможность решения связанных задач в пакете LS-DYNA. Так, например, связанные задачи механики деформированного тела и теплопереноса выполняются посредством связывания:

- влияния температуры на характеристики механических свойств материалов, параметры моделей материалов, моделей накопления поврежденности и критериев разрушения;
- учета в расчете напряженно-деформированное состояние рассматриваемой системы температурного расширения;
- учета в расчете теплопереноса работы пластической деформации.

Другим примером такого подхода является также программный пакет Adams – стандарт де-факто в области виртуального моделирования и инженерного анализа сложных машин и механизмов. Adams используется для виртуального моделирования и инженерного анализа механических, гидромеханических и электромеханических устройств: автомобилей и самолетов, железнодорожной техники и космических аппаратов и т.д. Наряду с широким набором универсальных опций (кинематических связей, упругих и диссипативных звеньев, нагрузок и кинематических воздействий), Adams включает также проблемно-ориентированные модули, обеспечивающие точное и быстрое моделирование таких сложных объектов, как автомобили и двигатели внутреннего сгорания, гусеничная техника и системы управления и устройства с различными принципами действия.

Обычно решение связанных задач требует гораздо больше вычислительных ресурсов, нежели более простых. Поэтому при возможности лучше иметь несколько приложений в соответствии с типом дисциплины и необходимое количество приложений для решения связанных задач.

Широко известные программные пакеты разрабатывались и совершенствовались в течение длительного времени с привлечением значительных ресурсов и являются весьма эффективными инструментами инженерного анализа в соответствующей (“своей”) области. Однако в настоящее время этого недостаточно. Компании – разработчики сложных изделий настаивают на интеграции различных программных систем, с тем чтобы выполнять многодисциплинарный инженерный анализ, уменьшая, по возможности, затраты на разработку, согласование и поддержание расчетных моделей, ориентированных на различные программы-решатели, а также минимизируя риски, связанные с потерей и некорректным использованием информации (исходных данных) при различных типах расчетов. И компании разработчики программных средств начали работы в этом направлении.

Так, например, были разработаны подходы к интеграции конечно-элементного пакета MSC Nastran и пакета Adams, в основе которого лежит представление исследуемого объекта в качестве многомассовой системы с нелинейными связями. Разработанный интерфейс обеспечивает экспорт конечно-элементной модели упругого компонента изделия из программного пакета MSC Nastran и “встраивание” ее в расчетную модель пакета Adams. Расчет, выполненный с применением модели, учитывающей упругие свойства податливых компонентов конструкции, обеспечивает получение результатов, сопоставимых с экспериментальными, полученными на физических образцах изделия. В то же время компьютерное моделирование существенно дешевле и требует меньших затрат времени по сравнению с изготовлением и испытаниями физического прототипа изделия.

Использование такой технологии позволило ввести в практику работы предприятий термин “виртуальные испытания” (virtual tests).

Однако, как указывалось выше, времена меняются, и сама жизнь выдвигает новые требования. Одним из таких требований всемерное ускорение процесса инженерного анализа. Расчеты должны выполняться в темпе проектирования (хорошо известно, что в настоящее время инженеры-расчетчики часто не успевают анализировать новые конструктивные решения, которые в большом количестве “генерируют” инженеры-проектировщики). Решить проблему повышения “производительности” расчетных служб можно, прежде всего, путем экономии времени за счет исключения подготовки разных расчетных моделей для разных расчетных пакетов, ориентированных на выполнение разных типов анализа. То есть речь идет о разработке и выводе на рынок компьютерной системы, обеспечивающей многодисциплинарный анализ на базе единой расчетной модели.

Компании- разработчики прикладывают большие усилия для реализации идеи компьютерной системы многодисциплинарного инженерного анализа на базе единой расчетной модели. Приведем некоторые примеры. Объединяя лучшие возможности своих программных пакетов, компания MSC.Software разработала программную систему нового поколения [7], основой которой является решатель MD Nastran (Multi-Disciplinary, Nastran – многодисциплинарный Nastran). Обращение как к решателю на базе LS-DYNA, так и к решателю Marc выполняется по следующей схеме: описание расчетной модели в формате MD Nastran с помощью внутреннего транслятора преобразуется в формат LS-DYNA или Marc, а затем инициализируется запуск соответствующего решателя, который и обрабатывает описание модели в “своем” формате. Ценность такого подхода состоит в том, что на предприятии разрабатывается единая расчетная модель, использование которой для того или иного решения регулируется соответствующим параметром во входном файле. Понятно, что разработка, отладка и поддержка одной расчетной модели (в частности, внесение в нее изменений в ходе изменения конструкции изделия) предполагает задействование существенно меньших ресурсов, нежели нескольких моделей в разных форматах.

Наряду с этим компания продолжает также развитие своих программ, основанных на других математических подходах (например, Adams и Easy5). MSC.Software анонсировала и последовательно претворяет в жизнь планы создания интегрированной программной среды сквозного виртуального моделирования, анализа и оптимизации продукции – MSC SimXpert [8]. MSC SimXpert содержит набор полнофункциональных настроек программной среды – workspace (“рабочее пространство”), нацеленных на решение задач в определенной области знаний:

Advanced Structure (линейный и нелинейный, статический и динамический анализ конструкции, расчет собственных форм и частот колебаний конструкции, анализ потери устойчивости, частотный отклик, анализ переходных процессов, двумерный и трехмерный контакт жестких и упругих тел и т.д.);

Advanced Motion (моделирование машин и механизмов, выполнение статического, квазистатического и динамического расчетов и т.д.);

Advanced Thermal (анализ процессов теплопередачи);

Advanced Crash (оценка безопасности конструкции – решение задач анализа конструкции явным методом с учетом существенно нелинейных факторов).

MSC SimXpert имеет открытую расширяемую архитектуру. Набор workspace может быть расширен пользователем путем подключения к SimXpert в качестве решателей как собственных программных систем, так и программных систем сторонних разработчиков.

Таким образом, MSC.Software практически реализует идею многодисциплинарного инженерного анализа на базе единой расчетной модели. Внедрение такого подхода и технологий MSC.Software в компаниях-разработчиках высокотехнологичной продукции обеспечит создание функциональных, надежных изделий, а самим предприятиям – конкурентоспособность и рыночный успех

Решение задач проектирования электронных устройств

Появление субмикронных норм привело к появлению принципиально нового класса СБИС – «систем на кристалле, SoC». Кроме того, уже сейчас степень интеграции достигает миллионов вентилях на кристалле. Неотъемлемой частью всех этих систем на кристалле (SoC) является встроенное программное обеспечение (ПО). И первая проблема, с которой сталкивается разработчик, – это выбор необходимого баланса между аппаратной и программной частями системы: какие функции лучше реализовать программно, какие – аппаратно. Причем этот баланс может изменяться в процессе работы. То есть процессы создания аппаратуры и ПО – взаимозависимы. ПО должно быть написано, отлажено и верифицировано с учетом особенностей аппаратной реализации всей системы. Сжатые сроки проектирования, диктуемые рынком и заказчиками, требуют, чтобы разработка и верификация ПО выполнялась не после завершения работ над аппаратной частью системы, а параллельно. Однако зачастую параллельная разработка и верификация аппаратной и программной частей SoC сопряжена с труднопреодолимыми проблемами.

Проектирование и создание изделий радиоэлектронной промышленности трудоемкий и сложный процесс, зависящий от различных факторов и включающий два этапа проектирования:

- функциональное;

- физическое.

При этом функциональное проектирование занимает до 95 % от общего времени проектирования и создания изделия. При этом на каждом из подэтапов проводится тестирование функционального проекта; RTL-модели и - физической модели.

Качество разрабатываемых цифровых устройств полностью определяется качеством функционального проекта, который существенно зависит от качества и количества тестов. Увеличение количества тестов приводит к увеличению времени проектирования на 90 – 95%. Это приводит к необходимости повышения производительности используемых вычислительных средств и к параллельному выполнению тестов.

При проектировании цифровых устройств на SoC возникает ряд проблем:

- этап формирования тестовых последовательностей и функционального тестирования проектируемой модели изделия зачастую занимает не менее половины от общего времени проектирования;
- в последнее время сложилась тенденция постоянного роста доли затрат на разработку ПО проектируемого устройства (микропроцессоры, микроконтроллеры и т.п.). Как видно из рисунка (информация предоставлена фирмой Cadence), при проектных нормах 0,13 мкм эти затраты становятся сопоставимы. И если вести разработку ПО и аппаратной части СБИС отдельно, то увеличивается вероятность выявления ошибок на этапах тестирования или эксплуатации всего устройства;
- очень большая стоимость пакетов САПР, применяемых в обеспечение проектирования данных устройств, фирм Cadence, Synopsys, Mentor Graphics, что весьма существенно в условиях рынка Союзного государства.

С целью устранения рассмотренных недостатков дополнительно в маршрут проектирования вводится процедура «Синтез проекта в базе ПЛИС Xilinx». Выполнение данной процедуры обеспечивает возможность проверки функционирования проектируемого устройства еще на ранних этапах. С помощью суперкомпьютерных систем достаточно эффективно решаются первые две из обозначенных выше проблем. Это позволяет:

1. существенно нарастить мощность тестов и сократить время функционального тестирования разрабатываемых устройств;
2. на этапе проектирования провести отработку программной части СБИС класса SoC.

При этом существенно сокращаются:

- количество функциональных ошибок проектирования сложных цифровых устройств;
- затраты и время проектирования сложных цифровых устройств, за счет параллельного тестирования функциональных проектов и клонирования функционального проекта в базе Xilinx.

Достоинствами такого подхода являются:

- использование мощных вычислительных средств и прикладного программного обеспечения с открытым кодом в процессе проектирования цифровых устройств;
- повышение квалификации специалистов предприятий радиоэлектронной промышленности в области разработки цифровых устройств с использованием современных технологий проектирования;
- обеспечение достаточности программного обеспечения за счет использования свободно распространяемого, что устраняет эффект невозможности обеспечения потребности в необходимом количестве лицензий программных продуктов Cadence из-за их высокой стоимости.

Такой подход повышает эффективность решения задач автоматизированного проектирования и моделирования электронных приборов и устройств.

Одна из характерных тенденций современного этапа развития технологии проектирования цифровых систем, в том числе и микропроцессоров — применение языков описания аппаратуры HDL (Hardware Description Language) высокого уровня, среди которых наибольшее распространение получили VHDL и Verilog.

При этом не только возрастает роль средств моделирования в процессе разработки устройств, но и меняются методы и требования, предъявляемые к процедурам верификации. Для своевременного обнаружения возможных ошибок средства моделирования должны обеспечивать возможность контроля результатов каждого этапа процесса проектирования: создания исходных HDL-описаний, синтеза, размещения и трассировки в кристалл. Такой подход обеспечивает минимальное время разработки устройства и сокращает стоимость этого процесса, так как цена ошибки возрастает с каждым последующим шагом проектирования.

Увеличение сложности микропроцессоров приводит к тому, что:

- усложняется составление спецификаций устройств и интерфейсов между ними;
- скорость выявления логических ошибок в RTL-описаниях снижается (достигает нескольких часов и даже дней);
- остаются необнаруженные ошибки при выпуске микропроцессора.

Существующие подходы к моделированию аппаратной части предполагают ее описание на уровне регистровых передач (RTL), как правило – на языках описания аппаратуры (HDL): VHDL или Verilog. RTL-модели представляют собой описание аппаратуры как совокупности регистров и логических связей между ними. Взаимодействие между модулями детализировано до описания отдельных сигналов и выводов. Естественно, RTL-модели характеризуют аппаратуру с точностью до цикла. Фактически RTL-описание

цифровых ИС – это законченный проект схемы в обобщенной форме, т.е. без привязки к библиотекам конкретных производителей СБИС.

Однако применение RTL-моделей для разработки и верификации ПО проблематично, поскольку:

- скорость моделирования ограничена, так как HDL-симулятор должен обрабатывать множество событий, связанных с изменениями сигналов. Это расходится с требованием высокой скорости моделирования системы.
- создание RTL-модели – это весьма существенный этап разработки аппаратной части проекта, фактически финальная часть схемотехнических работ (благодаря современным САПР). На это требуется немало времени и средств. А с ростом сложности аппаратуры начало процесса совместной верификации ПО и аппаратной части SoC отодвигается на поздние этапы проектирования, что противоречит требованиям минимизации сроков разработки.

Таким образом, при традиционном подходе верификация ПО начинается по завершении разработки RTL-описания системы. В результате не только увеличиваются сроки проектирования, но и вероятно обнаружение несоответствия между аппаратурой и ПО после завершения разработки аппаратной части. А это, в свою очередь, означает лишнюю итерацию в процессе проектирования SoC. Более того, из-за достаточно низкой общей скорости моделирования RTL-описаний (порядка 1000 инструкций в секунду) невозможна отработка сложных сценариев обмена данными, да и вообще большого числа сложных тестов. Поэтому до появления физического прототипа (например, на FPGA) взаимодействие аппаратуры и ПО может быть верифицировано весьма фрагментарно. Собственно, основная работа по верификации ПО начинается только с появлением физического прототипа. Производители процессоров моделируют поведение системы на языках описания аппаратуры VHDL или Verilog, реализуют прототип устройства на ПЛИС микросхемах. Физическим прототипом в этом случае выступают прототипы на FPGA, которые обладают высоким быстродействием.

При таком подходе выполняется более ранняя оценка пригодности алгоритмов, заложенных в спецификации и существенно сокращается время тестирования, скорость моделирования при этом в 8-11 раз выше, чем Verilog.

Заключение

Создание опытного участка Национальной грид-инфраструктуры является первым этапом в освоении грид-технологий, обеспечивающим изучение и отработку новых технологий, разработку новых сервисов, технологий безопасности, их дальнейшее распространение в регионы и отрасли, создание технологических основ для разработки и развития критических технологий, новой конкурентноспособной продукции. Эта инфраструктура будет использована для развертывания приложений в области машиностроения, биоинформатики и медицины. Она является основой для отработки и тестирования разрабатываемых программных средств и технологий и основой национальной грид-сети.