

Инструментальные средства проектирования инженерных систем объектов

Б.И. Борде,
проф., к.т.н., bborde@sfu-kras.ru,
СФУ, г. Красноярск

Рассматривается развитие открытого учебно-исследовательского программно-методического комплекса автоматизации проектирования неоднородных вычислительных систем в локальном и сетевом вариантах. Концептуальное описание на языке высокого уровня в форме обобщенных формализованных заданий позволяет производить многовариантное проектирование и сопровождение объекта на различных уровнях с автоматической оценкой параметров и критериев эффективности. Обеспечивается автоматическое преобразование результатов в пакеты схемного и конструкторского проектирования.

We consider the development of an open educational and research program-methodical complex design automation of heterogeneous computer systems in local and network versions. Conceptual description of the high-level language in the form of generalized formal job enables contingency planning and tracking of the object at different levels with automatic assessment parameters and performance criteria. It provides automatic conversion results in the circuit packs, and construction engineering.

Появление первых вычислительных машин к 1950 году позволило создать инструментальные средства проектирования инженерных систем объектов. Одной из первых систем была КСАПР ЭВМ, созданная в ИТМиВТ АН под руководством академика С. А. Лебедева.

Создание специализированных САПР соответствовало отраслевой подготовке специалистов в узких предметных областях. Стандарт интеграции и передачи информации проектирования ISO 10303 (ГОСТ Р ИСО 10303) наряду с общим подходом и двумя языками описания, определил предметные области в форме большого количества прикладных протоколов.

Множество специализированных моделей в текстовой и графической форме не удовлетворяло создателей объектов. Несогласованность моделей обходилась слишком дорого. Требовались единые информационные модели объектов.

Стандарт информационной платформы объединения систем проектирования – ISO 15926 (ГОСТ Р ИСО 15926) установил трехуровневую архитектуру моделей. Внешний (External) уровень моделей соответствует запросам пользователей, внутренние (Internal) модели соответствуют таблице варианта системы. Концептуальный уровень в программно – методическом комплексе представлен формализованным заданием на проектирование (ФЗ-FZ).

Основой предлагаемого подхода является однократный ввод описаний объектов в форме обобщенных формализованных заданий для различных уровней иерархии. Привычные инженеру графические документы в виде временных диаграмм, схем и сборочных чертежей должны получаться автоматически в результате интерпретации формализованных заданий и решений. При этом повышается производительность труда студентов и инженеров и становится реальным активное обучение в проектной команде.

Формальное представление предметной области (ППО) возможно с помощью онтологий. Модель онтологий представляется

$$O = (T, TREL, FVIEW),$$

где: T - конечное множество понятий (концептов, терминов);

TREL - конечное множество отношений между концептами;

FVIEW - конечное множество функций интерпретации, заданных на понятиях или отношениях.

Отношения между функциональными компонентами составляют систему, которая рассматривается как часть формализованного задания (FZ), раздел описания модуля, и может представляться принципиальной схемой или информационной моделью.

Описание проектного решения, достаточное для автоматизированного ввода и интерпретации формальной системой, называется формализованным заданием. Формализованные задания состоят из множества разделов, а разделы из предложений соответствующего языка.

Предлагаются объектно-компонентные описания множества вариантов вычислительной системы на стандартных языках высокого уровня с библиотеками моделей компонент для различных приложений. Варианты отличаются компонентами и связями между ними. Для каждого варианта задаются предполагаемые результаты, которые автоматически сравниваются с фактическими. Для каждого варианта в процессе моделирования оцениваются требуемые ресурсы для вычисления критериев эффективности и выбора оптимального варианта. Все варианты представляются принципиальной схемой и объемной моделью.

При создании информационных моделей объектов (ИМ) из различных классов компонент увеличивается мощность множеств T, TREL, FVIEW, и значительно повышается сложность задач проектирования. В таблице 1 приведены правила создания одного класса объектов. а в в таблице 2 правила создания объекта типа АЦП. Правила синтеза АЦП различной производительности приведены в таблице 3. На каждом уровне абстракции рассматривают функциональные модели систем в целом, которые называются макромоделями и описываются функциями выходов и переходов [3]. На следующем уровне абстракции находятся структурные модели, в которых отражается внутренняя структура объектов и компонент. Такие модели будем называть микромоделями. Результаты использования макромоделей всегда повторяются. При применении микромоделей можно моделировать нормальную и неисправную работу систе-

мы. Анализ несоответствия предполагаемых и фактических результатов позволяет принять решение о модификации правил синтеза класса объектов.

Таблица 1

Таблица правил создания класса объектов

Условия	Правила	Действия
Цель создания и характеристики нового устройства известны	Выбор и изменение прототипа объекта и правил синтеза схемы и воздействий	Синтез схемы, внешних воздействий и предполагаемых результатов
Несоответствие предполагаемых и фактических состояний (поведения, переходов)	Изменение варианта схемы или предполагаемых результатов	Изменение формализованного задания
Соответствие предполагаемых и фактических результатов и значений критерия эффективности хуже среднего по подобным схемам	Изменение варианта схемы	Изменение формализованного задания
Соответствие предполагаемых и фактических результатов и значений критерия эффективности лучше среднего по подобным схемам	Переход к конструкторскому проектированию	Автоматизированное формирование командного файла для конструкторского проектирования в конкретной САПР
Результат конструкторского проектирования не удовлетворяет техническому заданию	Изменение конструкции изделия	Изменение размещения компонент и повторное конструкторское проектирование
Результат конструкторского проектирования удовлетворяет техническому заданию	Переход к проектированию технологического процесса изготовления изделия	Оформление документации и подготовка управляющих данных для изготовления изделия
Проектирование технологического процесса закончено	Переход к изготовлению изделия	Изготовление изделия
Изделие изготовлено	Создание процесса (программы) испытания изделия	Подготовка оборудования и проверка программного обеспечения
Изделие изготовлено и испытания подготовлены	Испытание изделия	Проведение испытаний и сравнение результатов с предполагаемыми данными
Результаты испытаний не соответствуют предполагаемым характеристикам	Повторное конструкторское или схемотехническое проектирование	Изменение конструкции или схемы изделия
Результаты испытаний соответствуют предполагаемым характеристикам	Переход к производству изделия и сопровождению его жизненного цикла	Производство изделий и сбор информации о результатах эксплуатации

Таблица 2

Таблица правил создания класса объектов типа АЦП

Условия	Правила	Действия
Цель создания, характеристики и значения критерия эффективности нового устройства известны	Выбор и изменение прототипа объекта и правил синтеза схемы и воздействий	Синтез схемы, внешних воздействий и предполагаемых результатов
Несоответствие предполагаемых и фактических состояний (поведения, переходов)	Изменение варианта схемы или предполагаемых результатов	Изменение формализованного задания
Соответствие предполагаемых и фактических результатов и значений критерия эффективности хуже среднего по подобным схемам	Изменение варианта схемы	Изменение формализованного задания
Аналоговый сигнал поступает на прямой вход АЦП, одного или множества аналоговых компараторов	Выходы АЦП или компараторов соединяют с входами цифрового процессора	Соединить цифровыми каналами выходы АЦП или компараторов с входами цифрового процессора
Выходы цифрового процессора (ЦП) поступают на входы цифроаналогового преобразователя (ЦАП)	Выход ЦАП соединяют с инверсными входами АЦП, одного или множества аналоговых компараторов	Соединить аналоговыми каналами выходы ЦАП с инверсными входами АЦП, одного или множества аналоговых компараторов

Правила синтеза представляются таблицей решений и могут описываться в формализованном задании с помощью условных операторов или условий выбора. Для структурной оптимизации необходимы критерии эффективности [1,2,3,4]. Для стационарных вычислительных систем критерием эффективности является стоимость единицы производительности. Для мобильных объектов таким критерием может быть масса единицы производительности или мас-

са вычислительной системы и источника энергии на единицу производительности [3,4,5]. Подобные оценки для множества решений представляют сложную и трудоемкую задачу, для реального решения которой требуются инструментальные средства и информационное обеспечение.

Таблица 3

Таблица правил создания различных АЦП

Условия	Правила	Действия
Время преобразования может составлять $2^{**}n$ тактов при погрешности в один квант	Цифровой процессор представляет собой двоичный реверсивный счётчик	Соединить цифровыми каналами прямой выход компаратора с входом направления счета. Выходы счетчика соединить с ЦАП, а выход ЦАП с инверсным входом компаратора
Время преобразования может составлять n тактов	Цифровой процессор представляет собой два регистра последовательного приближения	Соединить цифровыми каналами прямой выход компаратора с входами дополняющих регистров. Выходы регистра соединить с ЦАП, а выход ЦАП с инверсным входом компаратора
Время преобразования должно составлять один такт	Использовать интегральный АЦП одного отсчёта	Соединить цифровыми каналами выходы АЦП, а усиленный входной сигнал с входом АЦП
Аналоговый сигнал поступает на прямой вход АЦП, одного или множества аналоговых компараторов	Выходы АЦП или компараторов соединяют с входами цифрового процессора	Соединить цифровыми каналами выходы АЦП или компараторов с входами цифрового процессора

В процессе проектирования формализованное задание на языке высокого уровня, представляющее множество технических решений, преобразуется в текстовую или табличную форму уровня одного варианта решения, которая может быть преобразована в текстовый, командный или табличный формат конкретной САПР или в формализованное задание. Количество вариантов определяется формализованным заданием.

В соответствии со стандартом был проведен анализ процесса проектирования различных объектов в разных областях. При проектировании устройств вычислительных систем моделируются варианты и выбирается оптимальный по критерию эффективности [1,2,3,4]. Для наземных систем это стоимость единицы производительности. При проектировании конструкции печатной платы компоненты размещаются по критерию минимума суммы длин проводников, а при трассировке соединений учитывается штраф за переходные отверстия и возможный уровень помех. Моделируется реальная схема устройства при заданных внешних воздействиях и проверяется соответствие заданию.

Процесс преобразования формализованного задания в описание для конкретной промышленной САПР с помощью программно-методического комплекса COD происходит следующим образом. Для каждого варианта описания формируется таблица TSCN (см. рис.1). Формализованное задание транслируется и редактируется с соответствующими моделями процедур, объединенными в библиотеку. При выполнении формализованного задания модель конкретного компонента вызывает обращение к информационной таблице и помещению информации о компоненте в таблицу варианта схемы (см. рис.1). Связи или соединения заполняются в таблице TSCN из формализованного задания. Таким образом, в таблице варианта схемы оказывается вся информация о компонентах, выводах компонентов и связях с другими компонентами. После формирования TSCN включаются функции формирования описания варианта схемы для конкретной САПР. Функции четвертого уровня обеспечивают обработку компонентов, а функции пятого уровня обеспечивают преобразование информации о выводах компонентов.

Например, функция для открытия таблицы соответствия обозначается DOpen или DbnOpen, а для их закрытия DClose или DbnClose. Функция открытия файла библиотеки компонентов обозначается LOpen или LibOpen, закрытия LClose или LibClose. Функция добавления цепей – NetAdd, функция добавления элементов – ElmAdd, функция дополнения схемы – SchAdd. Правила образования имен команд оболочки COD представлены в [3,4,5], таблица конкретных процедур и функций интерфейса приведена в [3,4,5]. Командный интерфейс (см. рис. 2) выполняется медленнее табличного, но отличается наглядностью и с большой скоростью выполняет действия оператора. При замедлении выполнения команд САПР командный интерфейс удобен для обучения операторов. Основой инструментальных средств составляют функции для работы с таблицей варианта схемы и другими данными.

WEB серверы (WS) содержат методические материалы и ссылки на серверы приложений (Application Server – APS). Например, WEB сервер WS1(см. рис. 3) обеспечивает обучение в системе MOODLE (e.sfu-kras.ru) и переходы к серверам приложений (APServer) для выполнения формализованных заданий, а WS2 – просто методические материалы. Результатом выполнения ФЗ являются сетевые сервисы, содержащие временные диаграммы поведения объекта, множество файлов проекта или макрокоманд для специализированной или комплексной САПР. Серверы приложений могут соединяться с аппаратурой (HW) с помощью устройств и процедур ADCUSB. Устройства ADCUSB содержат цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи. Серверы реализованы на виртуальных машинах DATA центра СФУ и используют ресурсы при обращении к ним.

Мобильные персональные средства представлены переносными компьютерами (МПК - MPC), , планшетными (ППК - TPC) и коммуникаторами с беспроводным соединением с сетью передачи данных (TEL). Достоинством мобильных средств является удобство использования на рабочем месте, а недостатком необходимость адаптивных средств отображения информации.

Появление комплексных САПР для проектирования неподвижных и мобильных объектов, и стандартов их представления привело к созданию новых инструментальных средств [1,2,4,5,6]. Проектирование здания начинается с анализа участка и возможных внешних воздействий. В соответствии с основной функцией и критериями эффективности выбирается площадь и этажность здания. Проектируется конструкция здания с учетом энергоэффективности. Размещается основное оборудование здания в соответствии с нормами. Затем производится трассировка соединений для всей системы и ее моделирование.

Вычислительная сеть может находиться в здании или на открытом пространстве. Для неподвижных объектов, например зданий, подходит среда Autodesk REVIT с возможностью автоматического размещения в помещениях сетевых

рабочих мест в соответствии с нормами. Кампус университета состоит из множества зданий, дорог и подземных коммуникаций и является объектом более высокого уровня со средой Autodesk INFRAWORKS. Кампус университета является частью объекта город. Процесс проектирования моделей начинается с нижнего уровня и заканчивается верхним, но является итерационным до удовлетворения требований задания.

	1. Формализованное задание (ФЗ)	
2. Модели поиска путей и имен ФЗ (CodRead)	Модели компонентов (Comp)	Модели управляющих процедур и функций генерации сигналов (Control)
3. Структура данных варианта схемы (TSCH)		
4. Методы чтения библиотеки компонент добавления и записи структуры данных схемы или файла макрокоманд	Методы чтения, записи, поиска в таблице данных варианта схемы (TSCH)	Методы чтения, записи и поиска компонента в таблице соответствия (Table)
5. Методы чтения, добавления и записи структуры данных компонента, его выводов и цепей	Методы чтения, добавления и записи таблиц символов и конструктивов	Методы поиска, чтения и записи информации о контактах компонента и подключенных цепях
Файл проекта конкретной САПР или стандартная структура обмена данными		

рис. 1. Обобщенная структура многоуровневой САПР при формировании файла проекта

	1. Формализованное задание (ФЗ)	
2. Модели поиска путей и имен ФЗ (CodRead)	Модели компонентов (Comp)	Модели управляющих процедур и функций генерации сигналов (Control)
3. Структура данных варианта схемы (TSCH)		
4. Методы чтения библиотеки компонент добавления и записи структуры данных файла макрокоманд	Методы чтения, записи, поиска в таблице данных варианта схемы (TSCH)	Методы чтения, записи и поиска компонента в таблице соответствия (Table)
5. Методы чтения, добавления и записи структуры данных параметров файла макрокоманд	Методы чтения, добавления и записи таблиц символов и конструктивов	Методы поиска, чтения и записи информации о контактах компонента и подключенных цепях
Файл макрокоманд конкретной САПР		

рис. 2. Обобщенная структура многоуровневой САПР для командного интерфейса

Информационная модель объекта (BIM-Building Information Model) может быть построена в среде Autodesk REVIT с помощью команд при отсутствии или наличии планов этажей. Лучшие результаты получаются при автоматическом построении объектов с помощью программных модулей. Схема алгоритма автоматического построения объектов, при наличии поэтажных планов в форме dwg файлов, приведена в работе [6]. Для программных модулей в САПР REVIT используется Net Script CAD [3,4,5,6]. Размещение оборудования разделяется по назначению на электроснабжение, коммуникационное, технологическое, жизнеобеспечение и управление зданием [4,5,6]. Программные модули позволяют разместить оборудование, в соответствии с нормами, в лекционных аудиториях, рабочие места в лабораториях и офисах. Трудоёмким является процесс соединения оборудования.

Каталог проекта должен содержать подкаталог dwg для поэтажных планов, каталог rvt для файлов Autodesk REVIT для возможности относительной адресации. Программные модули лучше создавать для многократного использования путем передачи параметров. Примером является модуль загрузки планов этажей.

САПР Autodesk REVIT предполагает работу трех различных специалистов: архитекторов, конструкторов строителей и специалистов по инженерным системам - системотехников (SYSTEM). Специалисты по инженерным системам должны владеть базовыми знаниями в различных областях и основами программирования для эффективного использования комплексных САПР, подобных REVIT, и информационной модели здания (BIM) в процессе его жизненного цикла. Состояние оборудования, помещений и конструкций в соответствии с единым протоколом управления объектом, например BACNET, поступает диспетчеру кампуса для оперативного управления и прогноза поведения объектов. Информационная сеть должна быть построена на различных принципах для сохранения работоспособности при чрезвычайных ситуациях.

Для проектирования кампуса или комплекса зданий необходим анализ участка и возможных внешних воздействий. Средой проектирования может служить САПР Autodesk INFRAWORKS. Границы участка и объектов задаются в угловых координатах, что создает возможность размещения кампуса на иной планете. Здания и объекты кампуса могут размещаться в двух вариантах. В виде символов в виде коробок или в виде полноценных зданий, созданных в САПР REVIT. Размещение символов требует меньше ресурсов и рекомендуется для проверки координат и взаимного расположения объектов. После проверки координат можно размещать полноценные здания из файлов типа rvt. Для проекта кампуса нужно создать каталог проекта и в нем подкаталоги dwg и rvt, где размещаются все необходимые объекты и возможна относительная адресация. В САПР Autodesk INFRAWORKS проектирование возможно с помощью команд или программных модулей. Командный режим рекомендуется для оригинальных отличий одного кампуса от другого. Использование программных модулей рекомендуется для итерационного проектирования кампуса или создания подобных кампусов.

Объединяют кампус дороги различных классов, которые задаются по точкам излома. Класс дороги можно выбрать и изменить с помощью меню. Коммуникации кампуса проводятся на разной глубине и отображаются различными цветами. Коммуникации лучше добавлять после размещения зданий.

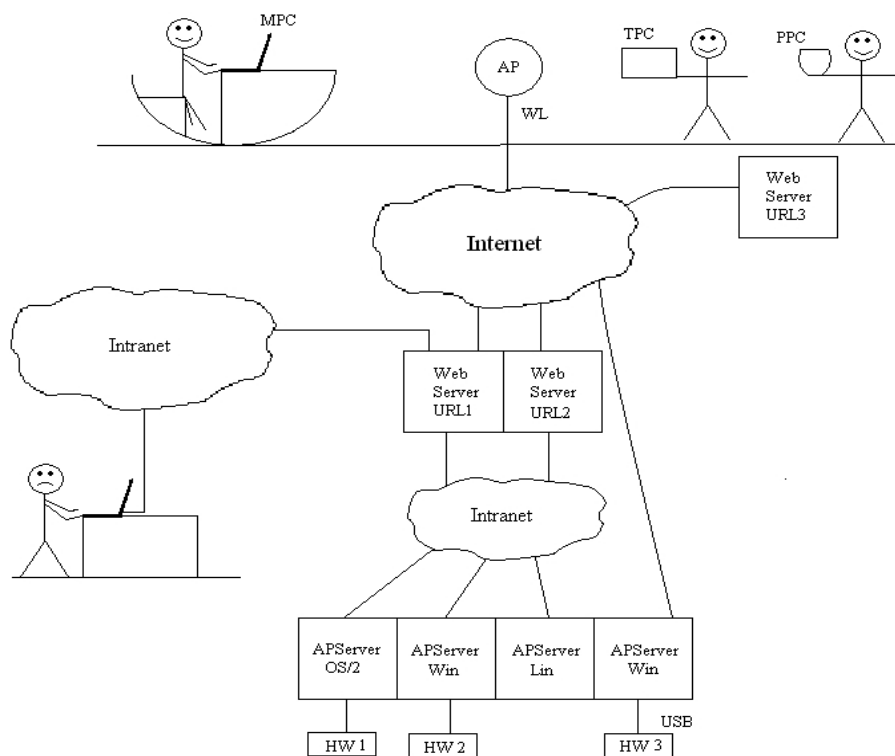


рис. 3. Структура подсети обеспечения сетевых сервисов

Координаты всех объектов вынесены в отдельный файл и представляют собой три массива: buildingsCoords-координаты зданий, roadsCoords-координаты дорог, treesPoligonsCoords-координаты полигона с деревьями. Это позволяет использовать координаты в любом проекте, включая соответствующий javascript файл.

Информационные модели кампуса и зданий важны не только для проектирования зданий и их комплексов. Гораздо важнее модели на всех этапах жизненного цикла с учетом ремонта и изменения коммуникаций. При наличии образцов модулей студент в течение месяца или семестра может выполнить проект или создать аналогичный модуль.

Текстовая форма на языках низкого уровня позволяет описать один вариант системы. Текстовая форма с использованием языка высокого уровня позволяет описывать как конкретные системы, так и множество систем. Процесс проектирования и испытаний новой системы является итерационным. В каждом итерационном цикле выполняются проектные процедуры синтеза, анализа и принятия решения.

Проектирование производится при неполной информации о системе и внешней среде. Информация дополняется на каждой итерации проектирования системы. Анализ различия предполагаемых и фактических результатов и критериев эффективности позволяет формировать правила синтеза системы. Основное внимание следует уделить системам с прогнозом интервала сигналов или с моделью объекта. С накоплением знаний о сигналах и объектах уменьшается поток входной информации и увеличивается поток прогнозных оценок сигналов и объектов.

Пособия и методические материалы лучше разместить на сетевом сервере, а выполнение формализованных заданий производить на множестве серверов приложений в различных операционных системах. Пользователь может работать в одной операционной системе с сетевой программой просмотра, а выполнять ее в различных средах [4,5]. К серверу приложений могут подключаться различные сетевые устройства для сравнения результатов моделирования и эксперимента. Использовано аналого-цифровое устройство фирмы National Instruments USB DAQ и программное обеспечение COD SFU и Lab View.

Программно-методический комплекс COD SFU доступен в сети Интернет по адресу <http://e.sfu-kras.ru>, и на оптическом диске (DVD-ROM) в свободном доступе в библиотеке СФУ [4].

Литература

1. Основы автоматизированного проектирования. Учебник / Под ред. А. П. Карпенко.- М., ИНФРА-М, 2015. 329с.
2. Артамонов Е. И. Структурное проектирование систем. / Е.И.Артамонов// Информационные технологии в проектировании и производстве.2008. №2. С.3–10
3. Борде Б.И. Основы САПР неоднородных вычислительных устройств и систем, Красноярск, изд. КГТУ с грифом Минобразования, 2001г.- 352с.
4. Борде Б.И. Программно - методический комплекс "Основы САПР неоднородных вычислительных устройств и систем " Красноярск, КГТУ, 2008г.-CDROM (рус.,англ.) . Номер гос. регистрации ИТЦ ИНФОРМРЕГИСТР 0320702238. [Полный текст с 2012 г. \(HTML, 687 Мб\). Доступ в сети СФУ.](#)
5. Борде Б. И. Развитие программно методического комплекса проектирования неоднородных вычислительных систем. / Б. Борде <Системы связи и радионавигации>, Красноярск, АО НПП РАДИОСВЯЗЬ, ISBN 978-5-9905691-1-9,2015,с. 234-239. (27-28 августа 2015 г.) / Б. Борде, «Успехи современной радиоэлектроники», №10, 2015, с.188-191.
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Industry_4.0