

УДК 004.896

СТРАТЕГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АНТРОПОМОРФНЫХ СИСТЕМ

С. А. Бажин,

старший преподаватель

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

А. С. Васильевский,

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник

К. В. Лапшин,

начальник научно-исследовательской лаборатории

ОАО «Высокие технологии», г. Санкт-Петербург

Рассматриваются основные подходы и методы создания систем интеллектуального проектирования антропоморфных объектов. Показано, что проблема сокращения сроков проектирования сложных технических объектов является актуальной научно-практической задачей, а создание основ интеллектуальной технологии проектирования на базе методов алгоритмизации ранних этапов проектирования наряду с разработкой и включением в технологический контур проектирования гибридных экспертных систем — эффективный путь ее решения.

Ключевые слова — интеллектуальное проектирование, экспертная система, система управления.

Введение

Антропоморфные приборы и системы (подобные человеку по принципам и механизмам обработки данных и знаний) занимают стремительно расширяющийся сегмент мирового рынка высоких технологий. На сегодняшний день в распоряжении разработчиков таких систем имеется некоторый набор методов и моделей, описывающих проектные процедуры и этапы. Достаточно подробно разработаны схемы их реализации. Однако известные попытки формализовать процессы проектирования (особенно на ранних этапах) в целях их алгоритмизации до сих пор успеха не имели, что отрицательно сказывается на сроках разработки и качестве конечного продукта. Проблема сокращения сроков проектирования антропоморфных систем (АС), относящихся к классу сверхсложных технических объектов, является актуальной научно-практической задачей, лежащей в русле критических технологий федерального значения. Эффективный путь решения данной проблемы — создание основ интеллектуальной технологии проектирования АС на базе методов алгоритмизации ранних этапов проектирования и на базе разработки и включения в технологический контур проектирования гибридных экспертных систем.

Методология интеллектуального проектирования

Структура АС в значительной мере определяет ее облик, под которым обычно понимается перечень ее основных элементов (составных частей); взаимное расположение составных частей в пространстве; способы и средства соединения и связи составных частей между собой; последовательность взаимодействия составных частей во времени; особенности конструктивного исполнения составных частей; принципиально важные соотношения параметров для системы в целом или ее отдельных составных частей [1].

Техническое решение (ТР) проектируемой системы представляет собой ее агрегированное описание, которое в процессе проектирования должно быть дополнено параметрическим описанием и графическим представлением. В качестве параметров объекта проектирования выступают его конструктивно-технические характеристики (КТХ), расчет и уточнение которых составляют основную задачу эскизного проектирования. В дальнейшем проектирование заключается в построении графического образа изделия, подготовке рабочих чертежей и конструкторской документации (технического и рабочего проектов).

Определение структуры изделия — наиболее творческая задача. Ее формализация должна учитывать следующую особенность традиционных подходов к проектированию. Приступая к синтезу облика АС, проектировщик обычно уже имеет ее функциональное представление (описание) и, исходя из этого, формирует структуру или единое функционально-структурное представление. Отсюда, формализация ранних стадий проектирования, так или иначе, должна коснуться и функционального представления проектируемой системы.

В основе функционального представления лежит система целей, предпочтений, потребностей и степень их удовлетворения проектируемой системой. Под функцией понимается действие, направленное на удовлетворение какой-либо потребности, на достижение определенной цели. Чтобы подчеркнуть многозначность понятия функции, интерпретируем его как пригодность или способность выполнять действие, поскольку АС могут быть пригодны к выполнению действий, для которых они и не предназначены. Более того, функции АС сами сложны и могут быть разделены на составляющие их подфункции. С любым объектом проектирования явно или неявно связывается также его основная функция (функциональное назначение), которая является системовыделяющей, вычлняющей подмножество сходных систем, к которому принадлежит и проектируемая АС.

Исходя из этого предлагаем следующую последовательность фаз интеллектуального проектирования (ИП):

$$F \rightarrow S \rightarrow P \rightarrow G,$$

где F — функциональное представление проектируемой АС в соответствии с системой предпочтений проектировщика; S — структурное представление проектируемой АС с учетом ее функционального представления на основе решения задачи формирования (синтеза) облика; P — отображение облика проектируемой системы в пространство параметров при помощи расчетно-логических процедур; G — графическое представление проектируемой системы, структура и параметры которой определены.

С информационной точки зрения, проектирование — это процесс последовательного преобразования входной информации об объекте проектирования (его функционального представления) в выходную в виде проектно-конструкторской и технологической документации (описания, необходимого для производства). В процессе составления и преобразования описаний объекта проектирования используются также знания о рас-

сматриваемой области и информация об опыте проектирования объектов аналогичного назначения.

Задачи составления параметрического P и графического G представлений АС иногда выводят за рамки ИП как чисто технические, не требующие особых творческих усилий. Вместе с тем расчет параметров или графическое представление облика проектируемой системы могут показать несостоятельность выбранного ТР, послужить причиной пересмотра структуры проектируемой системы, подсказать принципиально новое ТР.

Рассматривая ИП как единый процесс, выделим три его основные задачи: формирование требований, синтез облика, анализ элементов. Эти задачи соответствуют ранним стадиям проектирования: требования к объекту проектирования формируются на стадии разработки технического задания (ТЗ), облик АС и ее техническая концепция — на стадии предварительного проектирования, наконец, основная задача эскизного проектирования — анализ элементов, уточнение параметров и характеристик проектируемой АС, связанное с проектно-конструкторской проработкой ее основных составных частей и формированием их облика. Анализ элементов осуществляется на основе иерархической структуризации и сопровождается комплексными расчетами и экспериментальными исследованиями.

Дадим рабочие определения ряду основных понятий, отражающих особенности предметной области и выдвигающих требования к средствам автоматизации ИП.

Объект проектирования — это АС в виде технического объекта, который выполняет определенные функции, состоит из элементов (составных частей), характеризуется показателями (характеристиками) и зависит от внешних условий (среды). В основе описания технического объекта лежат функции, реализующие некоторые потребности (цели).

Функции. Выделяются общие и частные функции O , частные функции представляют собой декомпозицию общих. Все функции образуют иерархическую структуру (дерево), изоморфную дереву целей O .

Составные части. АС состоит из элементов, которые часто естественным образом группируются в относительно самостоятельные составные части (подсистемы, агрегаты, блоки, узлы). Основным признаком выделения элементов и их группирования при формировании облика АС является функциональный — каждая составная часть выполняет одну или несколько самостоятельных функций, для каждой функции можно определить одну или несколько выполняющих ее составных частей.

Структура АС представляется в виде многоуровневого дерева, взаимосвязанного с деревом функций, но не повторяющего его. В вырожденном случае функция может быть отнесена к системе в целом, которая при этом считается функционально неделимой. При формировании облика рассматриваемая структура АС является функциональной (зависящей от выделенных функций) и может не включать ряд составных частей, имеющих самостоятельные, но исключенные из рассмотрения функции.

Характеристики. С каждой функцией связано некоторое подмножество показателей, характеризующих эффективность ее выполнения, — тактико-технических (ТТХ), технико-экономических (ТЭХ), экологических и других характеристик. С каждой системой или ее составной частью связано также подмножество показателей или параметров, характеризующих их состав, ТР, взаимосвязь с другими системами или составными частями — КТХ.

Характеристики могут быть определенным образом связаны (аналитически — теорией расчета, статистически, эвристически и т. д.), каждая характеристика имеет некоторую шкалу измерения.

Критерии. В зависимости от конкретной постановки задач проектирования те или иные характеристики могут учитываться при формировании облика и, таким образом, выступать в качестве критериев оценки вариантов облика АС. Критерии образуют свою иерархию, соответствующую системе предпочтений проектировщика.

Условия функционирования. Параметры внешней среды, определяющие конкретные значения характеристик АС, выступают в роли условий ее функционирования (эксплуатации). Учет условий функционирования обеспечивается при помощи расчетно-логических процедур — пересчета типовых значений характеристик.

Облик. Целью ИП является формирование облика АС. Описание облика включает перечень функциональных элементов (составных частей) с указанием их технической реализации, а также значения характеристик в требуемых условиях функционирования. Предполагается, что техническая реализация составной части однозначно определяет ее конструктивное исполнение, положение в пространстве, взаимодействие с другими составными частями и т. д., если это необходимо для описания ТР объекта проектирования.

Требования. ТЗ формулирует требования к облику АС в виде ограничений на возможные значения ее характеристик (параметров) в конкретных условиях функционирования. Требования определяют в пространстве характеристик допустимую область, соответствующую уровню тех-

нического совершенства (эффективности) на момент начала изготовления АС, а также конкретным представлениям о допустимости или реализуемости используемых ТР.

Знания. В задачах ИП знания выступают в декларативной, продукционной и процедурной формах, каждая из которых имеет свои особенности приобретения (извлечения), представления и использования. Знания группируются в информационные структуры, соответствующие различным аспектам предметной области (структуре, функциям, характеристикам и т. д.).

Процесс проектирования. ИП носит итеративный (поисковый) характер, что проявляется в его цикличности: исходный вариант требований к АС в ходе решения задач синтеза облика и анализа элементов может быть скорректирован, формирование облика АС в целом может быть приостановлено для формирования облика ее отдельных составных частей, пополнения имеющихся знаний и т. д.

Если задаться целью классифицировать по определенным признакам задачи некоторой предметной области, в том числе задачи ИП, то следует иметь в виду непосредственную связь классификационных признаков с атрибутами задач, среди которых выделяются первичные: исходные данные («что дано») и требуемый результат («что найти»), а также вторичные: методы решения и используемые алгоритмы (зависят от первичных). В зависимости от первичных атрибутов задача может быть более или менее сложной, тривиальной или неразрешимой; иметь одно, несколько, бесконечно много или ни одного решения. Соответственно, метод решения может быть простым или сложным (включать ряд самостоятельных этапов), точным или приближенным, единственно возможным или охватывающим группу альтернативных подходов.

Под этим углом зрения можно рассматривать и задачи формирования облика АС на ранних стадиях проектирования и соответствующим образом их классифицировать. Прежде всего, выделим некоторый «максимальный» вариант задачи, когда требуется «с нуля» сформировать ТЗ, техническое предложение и разработать эскизный проект системы. Такая задача является наиболее сложной, она включает в себя все остальные постановки задач формирования облика как частные случаи [2]. В такой задаче явно имеются самостоятельные этапы: разработка ТЗ, технического предложения и эскизного проекта.

Проанализировав информацию, привлекаемую для решения этой задачи, мы получаем сводный перечень исходных данных, которые в конкретных постановках могут быть частично известны или заданы. В зависимости от этого дан-

ная задача в ее полном объеме (включающая все три основных этапа) может выглядеть по-разному. При этом исходные данные включают сведения о функциях, возложенных на проектируемую систему; условиях функционирования (эксплуатации) проектируемой системы; аналогах проектируемой системы (с точки зрения выполняемых функций) и классе систем, которому принадлежит объект проектирования; структуре, которая обеспечивает выполнение функций проектируемой системы; конструктивных параметрах и характеристиках (ТТХ, ТЭХ) объектов класса, которому принадлежит проектируемая система; требуемых и предельно допустимых значениях характеристик проектируемой системы; основных расчетно-логических соотношениях между характеристиками и параметрами проектируемой системы; ТР, которые могут быть использованы в проектируемой системе (их параметры, место и опыт применения); сочетаниях различных ТР (их совместимости, реализуемости, эффективности); критериях оценки и сравнения проектных решений (и вообще о системе предпочтений проектировщика); освоенном промышленностью базовом образце, заменить который должна проектируемая система.

Требуемый результат рассматриваемой «максимальной» задачи — это облик проектируемой АС, оформленный в виде эскизного проекта, который включает уточненные ТЗ и техническое предложение, проектно-конструкторскую проработку подсистем и агрегатов проектируемой системы, а также компоновочную и конструктивную схемы системы в целом, результаты экспериментальных исследований моделей ее функционирования. Таким образом, в полном объеме результаты ранних стадий проектирования включают: требуемые значения характеристик (ТТХ и ТЭХ); предлагаемый состав проектируемой АС; ТР, используемые в составных частях проектируемой системы (реализации составных частей, их КТХ, параметры и т. д.); значения характеристик проектируемой системы, полученные в результате экспериментальных исследований (в том числе в различных условиях функционирования), и их сравнение с требованиями ТЗ; другую проектную документацию согласно отраслевым нормативным материалам (компоновочные решения, графические образы, технико-экономическое обоснование требований ТЗ и проектных решений и т. п.).

Для частных задач проектирования можно ограничиться получением лишь части перечисленных сведений, имея в виду необходимость в дальнейшем продолжить проектирование и получить остальные сведения или сделать вывод о нецелесообразности его продолжения.

Подчеркнем особенности процесса ИП, которые необходимо учесть для создания методов, алгоритмов и средств автоматизированной поддержки работы проектировщика.

1. Проблема формирования облика имеет большое количество различных постановок, которое отражает многообразие конкретных задач формирования облика.

2. ИП характеризуется отсутствием жесткой схемы решения задач. Практически любая процедура решения частной задачи может быть приостановлена из-за недостаточности исходных данных (тогда потребуется ввести в действие процедуры получения необходимых данных), некорректности данных (в таком случае необходимо выявить причины некорректности и устранить их путем выполнения соответствующих процедур) и т. д. В связи с этим ИП требует большой гибкости программного обеспечения [3].

3. Решение задач проектирования АС предполагает работу с большим объемом данных о предметной области. Простое перечисление наименований составных частей сложной системы, способов их соединения и характеристик может занимать десятки мегабайт.

4. Эффективная поддержка процесса проектирования невозможна без использования знаний о предметной области и самом процессе проектирования. При этом необходимы знания, которые разнообразны по форме представления и по семантике. Так, одна часть знаний имеет вид теорий расчета, связывающих формулами характеристики предметной области, другая часть представляется условными высказываниями типа «если — то», третья описывает существующие и потенциально возможные структуры объектов и процедур, четвертая — схемы объединения оценок вариантов по локальным критериям качества в глобальную скалярную оценку.

5. В ходе проектирования разработчик пользуется различными способами обоснования решений. Однако фактически эти способы сводятся к хранению и поиску информации, вычислениям, логическому выводу и многокритериальному анализу.

6. Практически во всех организациях уже существуют программные системы, автоматизирующие работу проектировщика. Эти системы часто разрознены и обеспечивают помощь при решении отдельных задач: доступ к данным, выполнение расчетов по заранее разработанным схемам вычислений для того или иного узла. В связи с тем, что развитие таких пакетов программ, как правило, невозможно из-за замкнутости, а их объединение все-таки необходимо для повышения эффективности процесса проектиро-

вания, возникает проблема создания надсистемы, которая обеспечит как объединение, так и развитие существующих средств.

7. Для ранних стадий проектирования неизбежна неполная определенность части знаний и данных, которая может выражаться по-разному: в виде неполноты описания; недоопределенности значений параметров; неточности результатов измерений; нечеткости информации, сообщаемой экспертами; случайности результатов того или иного действия, обусловленной невозможностью точного предсказания последствий реализации принимаемых решений.

Заключение

Проведенный в статье анализ процесса проектирования АС и современного состояния упомянутых областей знания показывает, что при интеллектуализации проектирования должны быть обеспечены возможность использования всех способов представления знаний (процедурного, продукционного, семантического); реализация хранения и доступа к знаниям в рамках банка знаний; многокритериальный анализ альтернатив (аналогов при выборе прототипа, вариантов облика после генерации альтернативных ТР) на

всех этапах проектирования; построение заключений (о возможности сочетаний реализаций составных частей, о значениях характеристик реализации в нетиповых условиях функционирования) на основе логического вывода; реализация расчетно-логической процедур; обработка не полностью определенной информации в ходе проектирования; взаимодействие перечисленных процедур обоснования решений (так, на основе многокритериального анализа могут быть выбраны для выполнения правила из конфликтного множества, сделан выбор варианта реализации плана вычислений по критериям времени и точности вычислений при наличии нескольких вариантов и т. д.).

Из вышеизложенного следует, что современные средства проектирования антропоморфных систем должны создаваться и функционировать на основе технологии гибридных экспертных систем, обеспечивающих наиболее полное воплощение принципов интеллектуализации проектирования. Уровень интеллектуальности средств проектирования должен соответствовать уровню интеллектуальности объекта проектирования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 11-07-00240).

Литература

1. **Васильевский А. С., Лапшин К. В., Шепета А. П.** Методологические основы создания и использования интеллектуальных систем управления динамическими объектами // Научная сессия ГУАП: Сб. докл. СПб.: ГУАП, 2010. Ч. 2. С. 46–51.
2. **Виньков М. М., Лапшин К. В., Фоминых И. Б.** Проектирование систем управления сложными динамическими объектами // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте:

Тр. V Междунар. науч.-практ. конф., Коломна, 28–30 мая 2009 г. М.: Физматлит, 2009. Т. 2. С. 123–132.

3. **Коржавин Г. А., Лапшин К. В.** Моделирование интеллектуальных систем управления в нечетком информационном пространстве // Корабельные и бортовые информационно-управляющие системы: Сб. СПб.: Судостроение, 2009. Вып. № 10. С. 87–93.