

ВВЕДЕНИЕ В МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗНАНИЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Морфологический анализ и морфологический синтез

В инженерной практике обычно отсутствуют способы, позволяющие по условиям технического задания сразу же выбрать оптимальную структуру устройства. Поэтому процесс разработки носит итеративный характер. Обычно разработчик определяет, к какому классу устройств будет принадлежать проектируемое устройство, а затем пытается сузить этот класс, опробовать несколько технических решений, принадлежащих данному классу, и выбрать, то, которое является наиболее оптимальным.

Суть *морфологических методов* заключается примерно в том же: сначала мы определяем пространство поиска, которое обязательно должно включать в себя искомое решение (схему устройства), а затем сужаем это пространство, осуществляя поиск этого решения. Но в отличие от первого варианта, морфологический подход более формален и допускает компьютерную реализацию. Пространство поиска называется *морфологическим множеством*, а процесс определения этого пространства – *морфологическим анализом*. Поиск решения называется *морфологическим синтезом*.

В результате морфологического анализа определяется морфологическое множество или *множество альтернатив* (альтернативных решений). Такое множество должно содержать все структурные решения устройств рассматриваемого класса, как реально существующие, так и потенциально возможные, патентоспособные структуры. Естественно, задать все такие структуры прямым перебором невозможно, так как мощность морфологического множества обычно оказывается очень большой. Поэтому для его задания проводят классификацию устройств, входящих в это множество, выделяя классификационные признаки и определяя их возможные значения. Особенностью такой классификации является то, что она является строгой в том смысле, что задав все значения классификационных признаков мы можем однозначно идентифицировать структуру устройства.

В процессе морфологического синтеза мы ищем структуру синтезируемого устройства, проводя поиск на морфологическом множестве. Морфологический синтез имеет комбинаторную природу. Но так как мощность морфологического множества оказывается очень большой, то осуществить его полный перебор не представляется возможным ни с помощью существующих вычислительных машин, ни с помощью машин, появление которых ожидается в обозримом будущем.

Все осложняется еще и тем, что отсутствуют универсальные алгоритмы, позволяющие найти глобальное оптимальное решение за полиномиальное время. Поэтому для решения таких задач широко применяются эвристические методы. Такие методы могут быть как общими: *совершенствование прототипа, древовидное и лабиринтное конструирование*, так и частными, специфичными для данного класса устройств, являющимися частью знаний предметной области. С недавнего времени в морфологическом синтезе все более частое применение находят так называемые *генетические алгоритмы*, имитирующие эволюционный процесс в природе.

Если помимо структуры необходимо найти еще и параметры элементов, составляющих эту структуру, то, получим *структурно-параметрический синтез*. Так как любое устройство или система имеет структуру, а элементы, которые составляют эту структуру, имеют параметры – то методы структурно-параметрического синтеза могут быть применены практически во всех областях научно-технических знаний.

Впервые идеи морфологического подхода были изложены швейцарским астрономом Ф. Цвикки в 30-е годы прошлого столетия [1] и в дальнейшем были развиты рядом исследователей, в частности, В.М. Одриным и С.С. Картавовым [2-5], А.И. Половинкиным [6] и другими [7].

Но в существующих работах основное внимание уделяется самой методологии морфологического анализа, составлению морфологических деревьев и таблиц, а вопрос моделирования морфологического множества освещен крайне слабо, а в большинстве работ и вовсе не

¹ По материалам сайта «Проблемы автоматизации структурно-параметрического синтеза» STRUCTURALIST - <http://www.structuralist.narod.ru/about/about.htm>

рассматривается. Кроме того, в них обычно не различается моделирование морфологического множества и моделирование класса устройств, что, в общем-то, с методологической точки зрения является неверным. Поэтому в данной работе помимо введения в морфологические методы исследования предлагается методология моделирования морфологического множества и класса устройств, а также рассматриваются основные идеи моделирования предметной области. Вводятся понятия моделей четырех уровней M1 – M4, соответствующих уровням идентификации, спецификации, реализации и интеграции [8-10]

Чтобы смоделировать предметную область нам необходимо дополнить аппарат морфологических методов методами математического моделирования рассматриваемых объектов, а также методами инженерии знаний. Следует заметить, что морфологические методы во многом составляют основу такого моделирования и присутствуют в моделях всех уровней иерархии. Поэтому методология моделирования знаний предметной области является неким сплавом морфологических методов, методов математического моделирования и инженерии знаний, и она ни в коем случае не является простой суммой этих методов. Модель предметной области представляет собой модель класса устройств дополненную алгоритмами синтеза этих устройств по техническому заданию.

Представление морфологического множества: морфологические деревья, графы и таблицы

Морфологическое множество включает в себя все структурные решения объектов рассматриваемого класса. Такое множество может быть как неупорядоченным, так и частично упорядоченным. Если мы просто говорим о морфологическом множестве, то подразумеваем просто все множество структур объектов, которое не является упорядоченным. Если мы представляем это множества с помощью морфологического дерева или каким-либо иным способом, то мы тем самым упорядочиваем его. Причем следует обратить внимание, что мы можем одно и тоже морфологическое множество упорядочить разными способами, создавая различные системы классификационных признаков, хотя сами эти классификационные признаки могут быть одинаковыми.

Выделив классификационные признаки и сведя их в систему, а если присутствует несколько классов, то и определив отношение между классами, мы тем самым получаем упорядоченное множество, которое будет представлять собой модель морфологического множества на уровне идентификации. Назовем такую модель моделью M1. Ее обычно представляют либо в виде морфологического И/ИЛИ-дерева либо морфологической таблицы. Хотя возможны и другие способы представления, например в виде системы счисления и специального языка моделирования морфологического множества - Structuralist [11-12]. Заметим, что в литературе такое представление обычно никак не обозначается, просто говорится о морфологическом дереве или таблице.

Здесь мы вводим понятие модели класса устройств, и в частности модели морфологического множества на уровне идентификации или модели типа M1. Представление морфологического множества в том или ином виде правомочно называть моделью по аналогии с математическими моделями, представленными в виде систем уравнений.

Итак для случая объектов одного класса алгоритм морфологического анализа и представления его результатов в виде модели M1 следующий:

1. Выделить классификационные признаки.
2. Определить значения этих классификационных признаков.
3. Составить систему этих классификационных признаков, определив сочетаемость их значений.

Для случая нескольких взаимосвязанных классов объектов:

1. Определить классы объектов предметной области.
2. Выделить классификационные признаки.
3. Определить значения этих классификационных признаков.
4. Составить систему классификационных признаков и взаимодействия классов.

Пример 1. Пусть мы хотим провести анализ класса столов и оформить его результаты в виде морфологического дерева.

Столы у нас будут двух типов: обеденные и письменные. У письменных столов столешницы всегда будут прямоугольной формы, а у обеденных столов они могут прямоугольными, круглыми

и овальными. Сечение ножек для обоих типов столов может быть как прямоугольным, так и круглым. Кроме того, письменные столы могут иметь справа от 2 до 4 ящиков, расположенных вертикально. Все или некоторые из этих ящиков могут иметь замки.

Итак, попытаемся выделить классификационные признаки. Первый такой признак – это тип стола. Он может принимать 2 значения: обеденный и письменный. Второй такой признак – форма столешницы. Он будет иметь три значения: прямоугольная, круглая, овальная. Но для случая письменных столов у нас может быть форма лишь прямоугольной. Это является примером, который показывает необходимость сведения классификационных признаков и их значений в систему. Понятна необходимость наложения ограничений на значения классификационного признака, определяющего форму столешницы для случая с письменными столами.

Следующим классификационным признаком будет сечение ножек стола. Его значения: прямоугольное и круглое. Далее, нам необходим еще один классификационный признак – число ящиков, значения которого будут: 0, 2, 3 и 4. Для случая с письменными столами его значения будут в диапазоне от 2 до 4, а так как у обеденных столов наличие ящиков в нашем примере не предусмотрено, то его значение будет 0. Кроме того, в некоторых из ящиков могут присутствовать замки. Поэтому введем еще один признак – наличие замка. Его значениями будут: «присутствует» либо «отсутствует».

Попытаемся всю эту информацию отобразить в виде морфологического И/ИЛИ-дерева (рис. 1). Вершины у такого дерева отражают классификационные признаки, ребра – их значения. У морфологического дерева присутствуют два вида вершин *И* и *ИЛИ*. Вершина *ИЛИ* – означает выбор, *И*-вершина – последовательную обработку всех выходящих из нее ребер. Очень часто выходящие из *И*-вершины ребра представляют собой агрегируемые объекты (подсистемы).

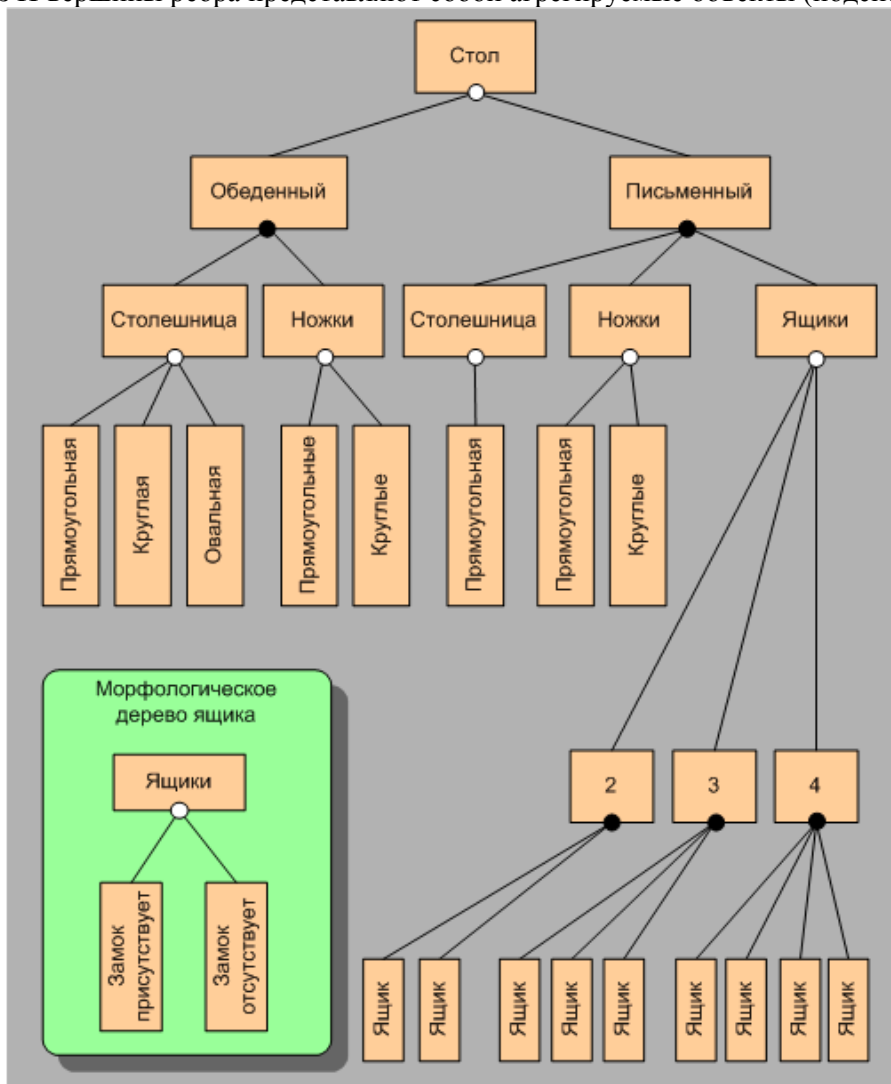


Рис. 1. Морфологическое И/ИЛИ-дерево множества столов

Начнем с первого, корневого, признака – назначение стола. В состав стола входят столешница, ножки, а для случая с письменным столом еще и ящики. Так как эти агрегаты в совокупности составляют стол, то объединим их И-вершиной. Следующим классификационным признаком будет форма столешницы. Для случая с обеденными столами она будет – прямоугольная, круглая и овальная. Для случая с письменными столами – прямоугольная. Теперь переходим к сечению ножек. В обоих случаях множества значений классификационных признаков будут совпадать: сечение ножек может быть прямоугольным или круглым.

Теперь необходимо определиться с ящиками. Так как у обеденных столов ящики отсутствуют, то мы просто не будем «подключать» вершину, определяющую этот признак. Для письменных же столов, эту вершину подключить необходимо.

Пришло время разобраться с наличием у ящиков замков. Так как замки у ящиков могут появляться в любой последовательности, то нам необходимо иметь возможность определять их независимо для каждого ящика. Для этого воспользуемся И-вершинами, которые будут определять ящики, как агрегаты (составные части) стола. Для случая с двумя ящиками, из И-вершины будут выходить 2 ребра, соответствующие двум ящикам. Для случая с тремя ящиками – 3 ребра, для 4 ящиков – 4. Чтобы всякий раз не подключать к каждому ящику замок, вынесем отдельно изображение морфологического дерева для класса ящиков. Вообще говоря, необходимо определиться в какой последовательности мы будем нумеровать ящики. Условимся нумеровать их сверху вниз. Итак, мы получили И/ИЛИ-дерево, описывающее морфологическое множество данного класса столов или для краткости морфологическое дерево столов.

Морфологическое И/ИЛИ-дерево столов описывает все морфологическое множество. А как представить конкретный объект этого множества, являющимся его элементом? Для этого необходимо выбрать ребра, соответствующие значениям классификационных признаков для конкретного рассматриваемого случая. После того как будут выбраны значения классификационных признаков, из ИЛИ-вершин будет исходить всего лишь по одному ребру, соответствующему выбранному значению, а сама вершина окажется вырожденной. Прodelав такую операцию для всех необходимых ИЛИ-вершин, получим морфологическое И-дерево с вырожденными ИЛИ-вершинами, которое будет однозначно идентифицировать объект, в нашем случае стол. Что касается И-вершин, то они как и в случае И/ИЛИ-дерева означают агрегацию объектов.

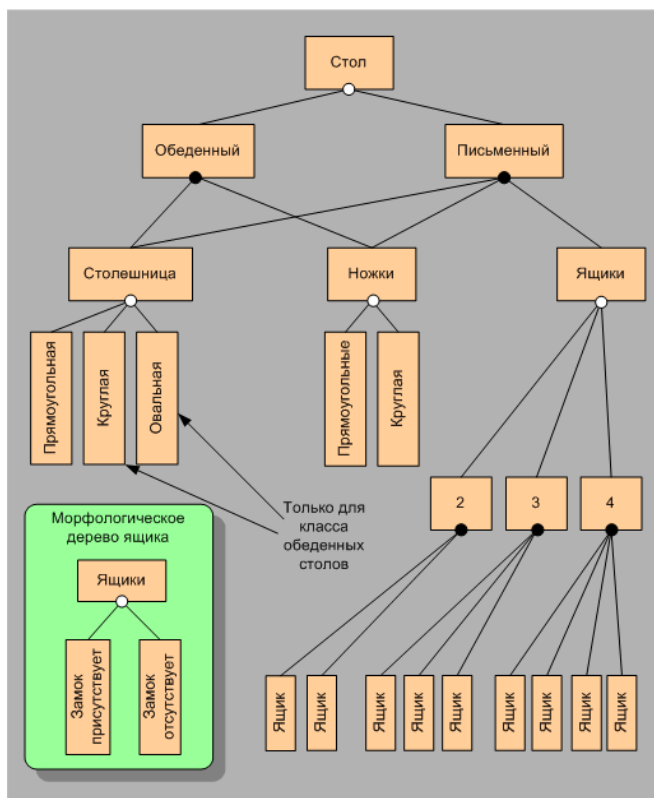


Рис. 2. Морфологический граф множества столов

Если внимательно посмотреть на получившееся дерево, то можно заметить, что оно распадается на два почти одинаковых поддерева. В самом деле, поддеревья для обеденных и письменных столов различаются незначительно. Поэтому информацию о морфологическом множестве рассматриваемых нами столов можно представить не в виде дерева, а в виде морфологического графа (рис. 2).

Результаты проведенного морфологического анализа можно представить и в виде многоуровневой морфологической таблицы, представленной тремя таблицами (табл. 1-3). Таблица будет многоуровневой, так как для ящиков приходится выделить отдельную морфологическую таблицу в которой будет отражаться наличие или отсутствие замка. Если бы мы ограничились лишь обеденными столами, то мы бы смогли обойтись и одноуровневой морфологической таблицей. Вообще говоря, в принципе можно было бы избежать многоуровневости, «развернув» таблицу, но тогда она получилась бы чересчур громоздкой.

Таблица 1

Морфологическая таблица класса столов

	Форма столешницы	Форма сечения ножек	Число ящиков
Обеденный стол	прямоугольная, круглая, овальная	прямоугольная, круглая	0
Письменный стол	прямоугольная	прямоугольная, круглая	2,3,4

Таблица 2

Морфологическая таблица класса ящиков столов

Наличие замка	присутствует, отсутствует
----------------------	---------------------------

Таблица 3

Морфологическая таблица класса ножек столов

Форма столешницы	прямоугольная, круглая, овальная
Форма сечения ножек	прямоугольная, круглая

Сравним использование морфологических деревьев и таблиц. Морфологические деревья наглядно отражают морфологическое множество. Они могут быть легко декомпозированы на поддеревья. Поэтому применение морфологических И/ИЛИ-деревьев представляется целесообразным. Морфологические таблицы для сколь либо сложных систем получаются многоуровневыми. Более того, отсутствует какой либо стандарт на структуру таких таблиц. Поэтому использование морфологических таблиц представляется целесообразным лишь для достаточно простых морфологических множеств, где можно обойтись одноуровневыми таблицами.

Моделирование морфологического множества и класса объектов

Используя модель M1, представленную тем или иным образом, мы можем однозначно идентифицировать объект, назвав все значения его классификационных признаков. Но такая модель не дает нам непосредственно информацию о структуре идентифицированного объекта. Поэтому чтобы восстановить по M1 структуру объекта, нам необходим некий словарь, который бы связывал значения классификационных признаков с некими примитивами, из которых строятся объекты предметной области. Назовем такой словарь словарем морфологического множества.

Так для нашего случая со столом, нам надо определить, как выглядят столешницы, ножки стола, ящики и замки, дав их чертежи или *спецификации*. Тогда двигаясь вдоль морфологического И-дерева с вырожденными ИЛИ-вершинами, мы будем выбирать из этого словаря соответствующие спецификации и собирать из них общую спецификацию объекта. Если объединить модель M1 со словарем и задать правила, как, используя этот словарь по идентификатору объекта построить его спецификацию, то получим модель на новом, более высоком, качественном уровне.

Так как эта модель описывает морфологическое множество целиком, на уровне спецификаций, то естественно назвать ее *моделью морфологического множества уровня спецификации* или

просто моделью морфологического множества. В отличие от модели M1, такая модель позволяет не только идентифицировать объект, но и получить его спецификацию, и тем самым является гораздо более содержательной. Кроме того, она включает в себя модель M1 в качестве модели более низкого уровня иерархии. Назовем эту модель моделью M2.

Пример 2. Пусть мы хотим создать модель морфологического множества столов используя результаты, полученные в примере 1.

Рассмотрим словарь морфологического множества для нашего случая со столами. В такой словарь должны входить спецификации для столешниц разных форм: прямоугольных, круглых и овальных; ножек двух видов сечений: прямоугольных и круглых; а так же ящиков, как с замками, так и без замков. Тогда, используя этот словарь мы можем по элементу морфологического множества, представленному, например, морфологическим И-деревом с вырожденными ИЛИ-вершинами получить спецификацию стола, соответствующую выбранным значениям классификационных признаков. Совокупность модели M1, словаря морфологического множества и правил получения общей спецификации по спецификациям элементов словаря будет представлять собой модель морфологического множества или модель M2.

Итак, M2 позволяет получить спецификацию структуры любого объекта принадлежащего рассматриваемому классу. Но такая модель не позволяет провести анализ этого объекта, не дает возможность получить какие-либо характеристики объекта отличные от структурных. Из нее непосредственно не вытекают системы уравнений, описывающие объект. Если помимо возможности восстановления структуры объекта по значениям классификационных признаков возможно составить систему уравнений, описывающую объект, и решить ее, то есть провести всесторонний анализ объекта, не только структурный, но и функциональный, то такая модель будет уже не моделью морфологического множества, а моделью класса устройств или универсальной моделью или метамоделью. Эта модель будет моделью третьего уровня (уровня симуляции), или моделью M3. Она включает в себя модели M1 и M2, точно так же как M2 включает в себя M1.

Так как модель M2 позволяет по значениям классификационных признаков получить спецификацию объекта, используя эту спецификацию, представленную на входном языке некоего пакета моделирования, возможно передать ее в данный пакет и провести анализ идентифицированного объекта в том объеме, который обеспечивается этим пакетом. Ввиду того, что сейчас пакеты компьютерного моделирования от различных производителей получили достаточно широкое распространение, в случае наличия подходящего для моделирования исследуемого класса устройств (объектов) можно ограничиться моделированием морфологического множества, а получаемые спецификации устройств передавать в этот пакет, где и проводить весь необходимый анализ. Таким образом, мы разделяем моделирование структур и функциональное моделирование. Это полностью соответствует современной тенденции модульного программирования, когда вместо того, чтобы писать программу целиком, ее собирают из готовых модулей, а пишут лишь отсутствующие.

Это сокращает объем работ и, кроме того, система получается более надежной, так как в ней используются модули, которые должны работать во многих различных системах и которые поэтому пишутся, отлаживаются и тестируются наиболее тщательно. Более того, мы разделяем различные виды знаний: моделирования структур и традиционного математического моделирования, что так же положительно с методологической точки зрения.

Морфологический синтез

В предыдущих пунктах было дано определение морфологического анализа, моделей морфологического множества и класса устройств, а также предложена методология получения таких моделей. В данном пункте будут рассмотрены вопросы поиска структурных решений, проектируемых объектов, осуществляемые методами морфологического синтеза на вышеупомянутых моделях.

Обычно помимо нахождения структуры необходимо найти параметры элементов, составляющих эту структуру. Более того, часто мы даже не можем провести оценку структуры, не проведя параметрический синтез, что, в частности, характерно для синтеза радиотехнических устройств. Поэтому, внутри каждого шага морфологического синтеза осуществляется еще и параметрический.

Так как методы параметрического синтеза заслуживают отдельного рассмотрения, они здесь упоминаться не будут.

Классификация методов морфологического синтеза

Классификация методов морфологического синтеза предложена в работе [4]. Здесь же будет приведена классификация несколько отличная от предложенной в упомянутых работах. Предлагаемая классификация, ориентированна на программную реализацию морфологических методов синтеза и, на взгляд автора, лучше отражает специфику данной задачи.

Итак, согласно предлагаемой классификации методы морфологического синтеза делятся на методы генерации структур и трансформации структур.

В случае генерации структуры процесс синтеза начинается как бы с нуля: у нас отсутствует первое приближение или прототип. Для методов трансформации структуры, напротив, необходима структура, которую они должны последовательно улучшать.

Далее, методы генерации структур делятся на методы зондирования морфологического множества и методы морфологического конструирования. В первом случае выбирается вся схема целиком, по крайней мере на уровне подсистем. Во втором – объект создается постепенно. Методы морфологического зондирования как и морфологического конструирования, могут быть одноуровневыми, когда за раз выбирается структура всей системы, и многоуровневыми, когда последовательно проводится синтез на разных уровнях иерархии, сначала системы, затем подсистем.

Методы трансформации структуры делятся на методы случайного блуждания и методы целенаправленного совершенствования прототипа. Следует отметить, что методы генерации структуры ориентированы на поиск глобального экстремума, трансформации структуры – локального. Здесь полная аналогия с математическим программированием.

Для реализации этих методов необходимы два класса эвристик: технические эвристики и эвристики трансформации. Технические эвристики обеспечивают простое изменение структуры объекта, например, увеличение или уменьшения порядка лестничной цепи, перевод цепи в дуальную и т. д. Эвристики трансформации в свою очередь являются эвристиками более высокого уровня абстракции, они используют технические эвристики и служат для непосредственного направления хода структурной оптимизации. Они, например, могут отвечать на вопрос что необходимо сделать для уменьшения неравномерности АЧХ, снижения суммарной индуктивности и т. п.

Зондирование морфологического множества

В случае зондирования морфологического множества выбирается элемент морфологического множества для одноуровневых систем или его окрестность - для случая синтеза иерархических систем. Выбор такого элемента может происходить как случайным образом, так и при помощи использования правил полученных на основе анализа экспертных знаний. Зондирование может быть случайным или детерминированным. Частным случаем последнего может быть полный или неполный перебор, который возможен лишь в случае небольшой мощности морфологического множества.

Алгоритмы зондирования могут быть неадаптивными и адаптивными. Неадаптивные алгоритмы осуществляют генерацию каждой новой структуры (зондируют морфологическое множество) независимо от уже сгенерированных структур. В случае адаптивных алгоритмов, генерация последующих структур осуществляется с учетом предыдущих. Адаптивный алгоритм сужает область поиска и стремится (или находит) глобальный экстремум (самую лучшую структуру).

Морфологическое конструирование

В отличие от методов зондирования, когда структура выбирается целиком, алгоритмы морфологического конструирования создают (конструируют) систему последовательно, подсистема за подсистемой. Основными методами морфологического конструирования являются: независимая оценка подсистем, древовидное и лабиринтное конструирование.

Независимая оценка подсистем

Простейшим методом морфологического конструирования является независимая оценка подсистем. В этом методе выбираются наилучшие технические решения подсистем, не учитывая технические решения других подсистем. Здесь предполагается, что система, будучи составленной из оптимальных подсистем, сама является оптимальной, что вообще говоря, с позиций системного подхода является неверным.

Впрочем, здесь возникают и другие трудности. Во-первых, не всегда удастся заранее определить состав подсистем. Так, например, для усилителя необходимо знать, как минимум, число каскадов. Этот метод для синтеза усилителей СВЧ может быть применен лишь для синтеза усилительных четырехполюсников. Для синтеза же цепей связи (согласующих цепей) он представляется непригодным. В самом деле, выбрать структуры цепи связи, не учитывая характеристики усилительных четырехполюсников, не представляется возможным.

Древовидное конструирование

Более совершенным методом является метод древовидного конструирования. Сначала проводится ранжирования подсистем по значимости выполняемой ими функций. Далее выбирается наиболее оптимальное техническое решение самой значимой подсистемы, после чего выбирается следующая подсистема, но уже с учетом первой. Потом выбирается третья с учетом уже существующих двух предыдущих и т. д. пока не будет получена структура всей системы.

По сравнению с методом независимой оценки подсистем древовидное конструирование является более гибким и дает возможность получить более оптимальное техническое решение. Этот метод может быть применен для синтеза транзисторных усилителей СВЧ-диапазона.

В самом деле, сначала мы можем синтезировать усилительные четырехполюсники, начиная с первого каскада для малошумящих усилителей (именно первый каскад будет определять качество усилителя) и с последнего, для случая усилителей мощности. Причем синтезировать усилительные четырехполюсники мы будем с учетом уже существующих. Далее синтезируются цепи связи (согласующие цепи).

Следует заметить, что УЧ можно выбирать и независимо, используя метод независимой оценки. Впрочем, возможна и другая последовательность синтеза функциональных элементов: сначала первый усилительный четырехполюсник; затем входная цепь связи; второй усилительный четырехполюсник; межкаскадная цепь связи и т. д. Такая последовательность не требует предварительного задания числа каскадов, а останов алгоритма произойдет после удовлетворения всем условиям технического задания.

Достоинством данного метода является то, что он дает возможность получить техническое решение проектируемого устройства за один проход. Но в этом и его недостаток. Так в случае двух подсистем мы действительно получим оптимальное решение. В самом деле, сначала выбирается наиболее значимая подсистема и, далее, с ее учетом, находится вторая.

Но уже в случае трех подсистем, древовидное конструирование не дает гарантии нахождения глобально оптимальной структуры. Мы выбираем третью подсистему с учетом уже существующих двух других. Поэтому если рассматривать уже созданную часть системы как данность, то система будет оптимальной. Но не факт, что отсутствует сочетание, не являющееся оптимальным для случая двух самых значимых подсистем, но которое будет лучшим для случая системы в целом. Но несмотря на это, древовидное конструирование может быть использовано для получения первого приближения, с последующим улучшением его методами трансформации структуры.

Лабиринтное конструирование

Следующим методом является лабиринтное конструирование. Здесь, как и в методе древовидного конструирования сначала выбирается самая значимая подсистема. Но помимо лучшей здесь выбирается еще и несколько запасных. Далее выбирается следующая лучшая подсистема, так же с несколькими запасными вариантами. Если процесс конструирования зашел в тупик, то есть выбранная часть системы не удовлетворяет ограничениям, то происходит возврат и выбирается

запасной вариант подсистемы. Причем возврат может осуществляться как на один, так и на большее число шагов, вплоть до первой выбранной подсистемы. Такой процесс продолжается до тех пор, пока не будет получена структура всей системы.

Следует заметить, что и лабиринтное конструирование не дает гарантии нахождения глобального оптимума и происходит это по тем же причинам, что и в случае древовидного конструирования. Для увеличения вероятности нахождения им глобального оптимума можно ввести элемент случайности, введя вероятность выбора варианта подсистемы, основываясь на том, что лучшие варианты должны иметь более высокие вероятности выбора по сравнению с другими. Иными словами, функция вероятности выбора варианта должна быть монотонной функцией от оптимальности этого варианта. Тогда запустив алгоритм лабиринтного конструирования несколько раз, можно выбрать наилучшее из полученных технических решений.

При синтезе ТУ СВЧ весьма перспективным представляется модифицированный метод лабиринтного конструирования [13]. В отличие от классического варианта в модифицированном методе на каждом шаге проводится параметрическая оптимизация полученной структуры, которая может быть дополнена структурной оптимизацией при помощи метода совершенствования прототипа.

В качестве примера рассмотрим стратегию синтеза малошумящего транзисторного усилителя на основе каскадной базовой усилительной структуры (БУС).

Сначала синтезируется первый . Он (как и другие усилительные четырехполюсники) может представлять собой как транзистор, содержащий различные корректирующие цепи, так и сколь угодно сложную БУС. Затем синтезируется входная цепь связи и проводится оптимизация полученной структуры. Далее синтезируется второй усилительный четырехполюсник. После этого проводится синтез цепей связи между первым и вторым усилительными четырехполюсниками и проводится оптимизация полученной структуры.

Этот процесс продолжается до получения окончательной усилительной структуры, которая будет удовлетворять техническому заданию.

В процессе синтеза может оказаться, что полученная на ранних этапах структура не позволит удовлетворить условиям технического задания при дальнейшем наращивании или будет заведомо неоптимальной. В этом случае необходимо вернуться на несколько шагов назад и попытаться заново провести синтез.

В заключении следует отметить, что древовидное конструирование можно считать частным случаем лабиринтного, когда отсутствует механизм возврата, а метод независимой оценки подсистем – частным случаем древовидного.

Совершенствование прототипа путем случайного блуждания

Метод совершенствования прототипа относится к классу методов трансформации структур. Сущность данного метода следующая. Сначала мы выбираем предварительную структуру проектируемого устройства или структуру прототипа, а затем начинаем ее улучшение или совершенствование. Отсюда и название – совершенствование прототипа. Такое совершенствование осуществляется по следующему алгоритму.

1. Выбрать структуру прототипа и сделать ее текущей.
2. Вычислить значение целевой функции.
3. Произвести модификацию текущей структуры.
4. Вычислить значение целевой функции. Если значение целевой функции улучшилось, то сделать структуру текущей, в противном случае отказываемся от произведенной модификации.
5. Проверить условие останова. Если оно выполняется, то прекратить процесс, в противном случае перейти к шагу 3.

Смысл алгоритма очевиден. Мы выбираем структуру прототипа проектируемого устройства, тем самым, задавая первое приближение. Затем начинаем его последовательное улучшение, приближаясь к оптимальному решению. Но насколько такой алгоритм позволит отыскать лучшее решение или, иными словами, достигнуть глобального оптимума?

Первое ограничение: мы никогда не выйдем за пределы морфологического множества. Этот алгоритм, как и все алгоритмы морфологического синтеза, осуществляет поиск лишь в границах морфологического множества, полученного в результате морфологического анализа и

реализованного в модели класса устройств. Но является ли такое ограничение слишком сильным? Ведь и разработчик обычно ищет рациональное техническое решение, оставаясь в рамках структур объектов известных классов устройств. Современное состояние теории интеллектуальных систем (систем искусственного интеллекта) не в состоянии создать алгоритм который позволил бы синтезировать принципиально новые структуры, не сводимые к известным базовым структурам и элементам. Но вполне возможно создать алгоритм, который будет синтезировать структуры, комбинируя уже известные структуры и элементы и получать объекты с требуемыми свойствами. За счет того, что современная вычислительная техника обладает большой вычислительной мощностью, которая к тому же продолжает стремительно возрастать, возможно создание программ, которые способны решать задачи синтеза не хуже большинства разработчиков. И даже в случае создания принципиально новых объектов, программы поддержки принятия проектных решений все равно могут оказаться очень полезными, так как, смоделировав класс только что изобретенных устройств, можно будет провести его всесторонний анализ, выявить сильные и слабые стороны, и в дальнейшем включить в стандартные библиотеки автоматизированного синтеза. А, следовательно, цель автоматизации структурно-параметрического синтеза – не подменить, а дополнить человека, оставить человеку решать лишь творческие задачи, переложив всю рутину на плечи компьютеров.

Целенаправленное совершенствование прототипа

Рассмотренный выше алгоритм не является адаптивным. Он случайным образом модифицирует структуру объекта и как бы блуждает по морфологическому множеству. Отсюда и название этого алгоритма – алгоритм случайного блуждания. Здесь можно провести аналогию с алгоритмом покоординатного спуска в теории НЛП. Но можно сделать так, что модификация структуры будет направляться эвристиками, полученными в результате анализа экспертных знаний в предметной области. Например, известно, что уменьшить неравномерность АЧХ СВЧ усилителя, можно путем добавления цепей обратных связей, амплитудных корректоров или увеличением порядка согласующих цепей. Очевидно, что такой алгоритм будет обеспечивать гораздо более быструю сходимость по сравнению со случаем случайного блуждания. Но здесь может подстерегать другая опасность: уменьшается пространство поиска, или точнее сужаются габариты коридора, в котором происходит трансформация структуры.

Алгоритм целенаправленного совершенствования прототипа по существу является нечетким регулятором, изучаемым в теории систем основанных на знаниях, который приспособлен для нужд морфологического синтеза. Это дает возможность воспользоваться хорошо разработанной теорией и практикой реализации нечетких регуляторов, разработанными в соответствующем разделе науки об интеллектуальных системах.

Методы морфологического синтеза служат для нахождения структур проектируемых устройств. Они делятся на методы генерации и трансформации структур. Первые ориентированы на поиск глобального экстремума, вторые – локального. Здесь полная аналогия с математическим программированием.

Генерация структуры может быть адаптивной, когда последующие структуры генерируются с учетом уже сгенерированных структур.

В случае иерархических систем сначала синтезируется система на самом высоком уровне абстракции. Далее синтезируются подсистемы.

Следует заметить, что все изложенные здесь алгоритмы являются скорее шаблонами, по которым строятся конкретные алгоритмы, нацеленные на решение реальных задач. Здесь уместно провести аналогию с известным алгоритмом коммивояжера.

От моделирования класса устройств к моделированию предметной области знаний

Модель МЗ позволяет провести всесторонний анализ любого устройства принадлежащего рассматриваемому классу, заданное значениями классификационных признаков. Поэтому эта модель является моделью уровня анализа. На такой модели возможно проводить структурно-параметрический синтез при помощи модуля, реализующего алгоритмы такого синтеза.

Но в настоящий момент, отсутствуют универсальные алгоритмы, позволяющие проводить структурно-параметрический синтез за приемлемое время. Поэтому используются различные

эвристики, взятые из конкретных предметных областей. Если мы для данного класса объектов помимо знаний их моделирования приведем формализованные знания задания на синтез и эвристики, применяемые при проектировании, то получим модель предметной области или модель М4 [8-10].

Модель М4 является моделью М3 дополненной знаниями, необходимыми для синтеза объектов данного класса. Иными словами, модель предметной области представляет собой модель класса устройств дополненную алгоритмами синтеза этих устройств по техническому заданию. Поэтому модель М4 является моделью уровня синтеза. А так как она интегрирует в себя все типы знаний предметной области, то такую модель можно назвать моделью уровня интеграции.

Итак, мы ввели 4 класса моделей: М1 – М4. Модель М1 соответствует уровню идентификации; М2 – уровню спецификации; М3 – уровню реализации; М4 – уровню интеграции. Эти модели представляют собой систему. Особенностью такой системы является то, что модели верхних уровней иерархии включают в себя модели нижних уровней (рис. 3). С другой стороны они представляют разные виды знаний, для формализации которых требуются различные способы представления. Информацию о таком представлении можно заключить в отдельные модули, что ведет к разделению знаний по слоям, что является положительным с точки зрения современных методологии инженерии знаний.

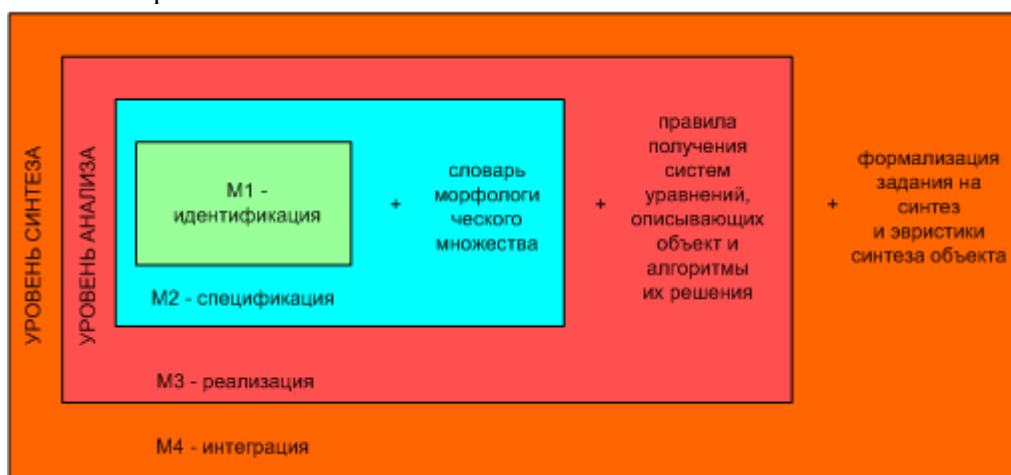


Рис. 3. Структура четырехуровневой интегративной модели области знаний

Выводы

Морфологические методы являются мощным аппаратом исследования в различных областях знаний. Сущность морфологических методов заключается в следующем: сначала в результате морфологического анализа мы определяем пространство поиска, называемое морфологическим множеством, которое обязательно должно включать в себя искомое решение (структуру объекта), а затем сужаем это пространство, осуществляя поиск этого решения, которое является элементом морфологического множества.

Но морфологические методы оперируют лишь понятиями структур объектов, следовательно, они моделируют только часть знаний предметной области, относящуюся к морфологии. Поэтому для моделирования знаний предметной области морфологические методы должны быть дополнены методами математического моделирования рассматриваемых объектов, а также методами инженерии знаний. Для моделирования знаний предметной области используются модели четырех уровней М1 – М4, соответствующих уровням идентификации, спецификации, симуляции и интеграции.

Модель М1, или модель морфологического множества уровня идентификации – это модель, которая однозначно идентифицирует устройство, не давая его спецификации. Она соответствует морфологическому И/ИЛИ-дереву для случая морфологического множества и морфологическому И-дереву с вырожденными ИЛИ-вершинами для элемента морфологического множества (конкретно взятого устройства). Ключевое слово – идентификация. А следовательно, это модель уровня идентификации.

Модель М2, или модель морфологического множества это – модель, которая позволяет получить спецификацию, однозначно описывающую любое устройство, принадлежащее рассматриваемому классу. Здесь ключевое слово – спецификация, поэтому и модель будет уровня спецификации.

Модель М3, модель класса устройств или универсальная модель – модель всего класса устройств, позволяющая анализировать любое конкретно взятое устройство, принадлежащее классу рассматриваемых устройств.

Модель М4 – модель знаний предметной области. Интегрирует знания рассматриваемой предметной области. Она является моделью класса устройств М3, дополненную экспертными знаниями из предметной области, позволяющими проводить синтез. Если модели М1 – М3 являются моделями уровня анализа, то М4 является моделью уровня синтеза. Ключевое слово интеграция. Следовательно, это модель уровня интеграции.

Применение моделей четырех указанных типов позволяет смоделировать предметную область, представить знания более формализовано, более строго, чем это обычно делается. Кроме того, такие модели допускает компьютерную реализацию на всех иерархических уровнях, позволяя интегрировать широко используемые пакеты моделирования. Кроме того, в них осуществляется разделение различных видов знаний: морфологических (структурных) знаний, знаний о математическом моделировании и знаний, представленных эвристиками, применяемыми разработчиками при проектировании устройств.

Литература

1. Zwicky F. Discovery, Invention, Research through the Morphological Approach. New York: McMillan, 1969.
2. Одрин В.М. Метод морфологического анализа технических систем. М.: ВНИИПИ, 1989.
3. Одрин В.М., Картавов С.С. Морфологический анализ систем. Построение морфологических таблиц. Киев: Наукова думка, 1977.
4. Одрин В.М. Морфологический синтез систем: морфологические методы поиска. Препринт 86-5. Киев: Институт кибернетики им. В. М. Глушкова АН УССР, 1986.
5. Одрин В.М. Морфологический синтез систем: постановка задачи, классификация методов, морфологические методы «конструирования». Препринт 86-3. Киев: Институт кибернетики им. В.М. Глушкова АН УССР, 1986.
6. Автоматизация поискового конструирования / Под ред. А. И. Половинкина. М.: Радио и связь, 1981.
7. Алексеев А. В., Борисов А. Н. и др. Интеллектуальные системы принятия проектных решений. Рига: Зинатне., 1997.
8. Акимов С.В. Четырехуровневая интегративная модель для автоматизации структурно-параметрического синтеза // Труды учебных заведений связи / СПбГУТ. СПб, 2004. № 171. С. 165-173.
9. Акимов С.В. Мультиагентная модель автоматизации структурно-параметрического синтеза // Системы управления и информационные технологии, 2005, № 3 (20). С. 45-48.
10. Акимов С.В. Архитектура распределенной системы структурно-параметрического синтеза // Международная НТК «Единое информационное пространство '2004»: сб. докл. / Днепропетровск, 2004, С. 21-24.
11. Акимов С.В. Модель морфологического множества уровня идентификации // Труды учебных заведений связи / СПбГУТ. СПб, 2005. № 172. С. 120-135.
12. Акимов С.В. Лингвистическое обеспечение моделирования морфологического множества // 57-я НТК: материалы / СПбГУТ. СПб, 2004. С. 101-102.
13. Акимов С.В. Общая методология синтеза различных классов транзисторных усилителей СВЧ // Труды учебных заведений связи / СПбГУТ. СПб, 2001. № 166. С. 79-83.