

Литература

1. *Rannacher R.* Methods for Numerical Flow Simulation. Institute of Applied Mathematics, University of Heidelberg, Germany, 2007. P. 1-58.
2. *Shaidurov V.V., Shchepanovskaya G.I., Yakubovich M.V.* Numerical modelling of supersonic flows in channel // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2012. V. 27. N 6. P. 501-516.
3. *Priestley A.* A quasi-conservative version of the semi-Lagrangian advection scheme // Mon. Weather Rev. 1993. V. 121. P. 621-629.
4. *Scroggs J.S. and Semazzi F.H.M.* A conservative semi-Lagrangian method for multidimensional fluid dynamics applications // Numer. Meth. Part. Diff. Eq. 1995. V. 11. P. 445-452.
5. *Phillips T.N. and Williams A.J.* Conservative semi-Lagrangian finite volume schemes // Numer. Meth. Part. Diff. Eq. 2001. V. 17. P. 403-425.
6. *Iske A.* Conservative semi-Lagrangian advection on adaptive unstructured meshes // Numer. Meth. Part. Diff. Eq. 2004. V. 20. P. 388-411.
7. *Щепановская Г.И.* Математическое и численное моделирование течений вязкого теплопроводного газа // Вестник СибГАУ. 2011. Т. 5. № 38. С. 101-106.
8. *Shaidurov V., Liu T., Zheng Z.* Four-stage Computational Technology with Adaptive Numerical Methods for Computational Aerodynamics // Conf. Proc. of American Institute of Physics. 2012. V. 1487. P. 42-48.

Boundary condition in the finite element method For navier-stokes equations

*Vladimir Viktorovich Shaidurov, Phys.&Math.Dr., Corr. memb. of RAS, Director of ICM SB RAS
Institute of Computational Modeling of SB RAS*

*Galina Ivanovna Shchepanovskaya, Phys.& Math.Cand., senior research scientist
Institute of Computational Modeling of SB RAS*

*Maxim Viktorovich Yakubovich, junior research scientist
Institute of Computational Modeling of SB RAS*

In this paper, algorithms are discussed for numerical solution of the two-dimensional Navier-Stokes equations of viscous heat-conductive gas. Discretization of equations in time is realized by semi-Lagrangian method which often is called as the generalized method of characteristics or trajectories. And discretization in space is fulfilled by the finite element method. Particular attention is paid to the possible form of the boundary conditions for the closure of the computational domain and their implications for the numerical simulation in a test problem of gas flow in the channel as an example.

Keywords: Navier-Stokes equations, viscous heat-conductive gas, semi-Lagrangian approximation, finite element method.

УДК 681.31

О ЗАДАЧАХ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Татьяна Александровна Янковская, канд. физ. - мат. наук, доцент
Тел.: +7 913 1952303, e-mail: tajanko@mail.ru
Сибирский федеральный университет
<http://www.sfu-kras.ru/>*

В статье рассматривается постановка и формализация комбинаторно-оптимизационных задач. Приведена классификация задач структурного синтеза и указаны их характерные особенности.

Ключевые слова: структура системы, синтез, оптимизация, методы, математическое моделирование задач.

Проблема автоматизации структурно-параметрического синтеза и разработки общей теории такого синтеза, являются актуальными, так как проблема синтеза встаёт практически перед каждым исследователем, разработчиком или проектировщиком различных сложных технических систем.



Т.А. Янковская

Общая теория структурно-параметрического синтеза является комплексной дисциплиной и использует методы из различных областей знаний, основными из которых являются: системный анализ, искусственный интеллект, инженерия знаний, математическое программирование, исследование операций, теория принятия решений, эволюционные мультиагентные системы.

С проблемой синтеза объектов в сложных технических системах, так или иначе, связано несколько дисциплин: теория систем автоматизированного проектирования (САПР), теория оптимизации, математическое программирование, теория искусственного интеллекта и экспертных систем и т.д. За исключением САПР, эти дисциплины рассматривают лишь некоторые аспекты структурно-параметрического синтеза [1-3].

На первый взгляд может показаться, что между САПР и структурно-параметрическим синтезом можно поставить знак равенства. Но в САПР изучаются различные аспекты автоматизации проектирования объектов, включая аппаратное обеспечение. Общую же теорию структурно-параметрического синтеза систем интересует исключительно формализация синтеза объектов, выявление общих закономерностей синтеза объектов различной природы. При разработке, проектировании и создании сложных объектов необходимы сведения о количественных и качественных закономерностях, свойственных рассматриваемым системам, которые могут быть получены на базе метода математического моделирования.

Целью данной работы является попытка систематизировать комбинаторно - оптимизационные задачи структурного синтеза, возникающие при проектировании сложных технических систем. Например, таких как моделирование процесса диагностирования горного оборудования [4], разработка компьютерного тренажера управления процессом функционирования печи спекания, системы проектирования составных элементов бортовой аппаратуры командно-измерительной системы спутников связи.

Рассмотрим формальную и математическую постановку задачи. Структурно-параметрический синтез объекта – синтез, при котором полностью и однозначно определяются структура объекта и значения параметров, описывающих его свойства.

Определение 1. Под структурой системы S будем понимать множество элементов (агрегатов, подсистем) и связей между ними:

$$S = (A, R),$$

где A – множество элементов; R – множество связей между элементами из A .

Структуры могут быть иерархическими, и если на одном уровне элемент представляется неделимым, то на более низких уровнях он может быть разложен на отдельные элементы. Справедливо и обратное, когда некоторый элемент, имеющий структуру на более высоких иерархических уровнях, выступает как неделимый элемент.

В общем виде задача *структурного синтеза* заключается в определении некоторого варианта структуры объекта. Для выбора варианта необходимо иметь правило, служащее для сравнительной оценки качества вариантов - *критерий оптимальности*. Полученный вариант структуры характеризуется некоторым выходным параметром или их совокупностью, соответственно различают *частный* и *обобщенный* критерии оптимальности.

Определение 2. *Целевой функцией* называется критерий оптимальности, представленный в виде функциональной зависимости от варьируемых параметров.

Определение 3. *Оптимизацией* назовем процесс поиска такого варианта решения, целевая функция которого принимает экстремальное значение.

В комбинаторно-оптимизационных задачах в конечном множестве допустимых решений отыскивается такое, для которого целевая функция достигает оптимального (максимального или минимального) значения.

В случаях, когда вариант структуры полностью можно охарактеризовать только совокупностью выходных параметров имеем *многокритериальную* задачу оптимизации.

Принимая в качестве целевой функции параметр, наиболее полно характеризующий проектируемый объект многокритериальные задачи можно свести к однокритериальным. Остальные параметры или их часть могут выступать в качестве ограничений (условий). Параметры, которые не были включены в ограничения, будут принимать значения, полученные при оптимизации целевой функции. Таким образом, мы пришли к задаче на условный экстремум (максимум или минимум).

Математическая модель комбинаторно-оптимизационной задачи имеет вид:

$$\begin{aligned} \text{Найти } x^* \in X: f(x^*) = \text{opt} \{f(x) \mid x \in X\} \\ \text{при } \Theta_i(y_i, \dots, y_m) \leq 0, i = 1, \dots, n, \\ a_j \leq y_j \leq b_j, j = 1, \dots, m, f(x) = F(Y, Z), \end{aligned}$$

где X - вектор выходных переменных, задающий конечное множество допустимых решений - вариантов структуры; x - допустимое решение - один из вариантов структуры; x^* - оптимальное решение; f - целевая функция задачи оптимизации; $f(x^*)$ - оптимальное значение целевой функции; $Y = \{y_j \mid j = 1, \dots, m\}$ - вектор управляемых переменных, конкретные значения которых определяют один из вариантов структуры объекта, значение целевой функции и показателей, включённых в ограничения; $Z = \{z_k \mid k = 1, \dots, K\}$ - вектор неуправляемых переменных.

Конкретизация общей формулировки для различных проектных задач структурного синтеза требует выбора целевой функции и определения состава векторов управляемых, неуправляемых и выходных переменных.

В *качестве управляемых переменных* могут выступать количество элементов определённого типа в структуре объекта и их характеристики, координаты элементов, наличие или отсутствие связей, характеристики связей и т.д.

Неуправляемые параметры – это такие конструкторские характеристики комплекующих элементов структуры, как выделяемая мощность, интенсивность отказов (или среднее время безотказной работы и его дисперсия) и т.д.

В приведённой постановке подразумевается, что множество допустимых решений X задано или может быть получено. При формализации прикладных задач структурного синтеза, прежде всего, необходимо определить множество X .

Очевидно, что в задачах структурного синтеза X - это математическая модель проектируемого объекта, представляющая собой формальное описание множества вариантов структуры объекта на рассматриваемом уровне детализации. Отметим, что это множество не обязательно должно быть задано перечислением его элементов.

Определим две основные проблемы, которые необходимо решать при формализации прикладных задач структурного синтеза:

- получение математической модели объекта проектирования;
- конструирование целевой функции и формирование ограничений.

Приведём основные четыре класса комбинаторно-оптимизационных задач структурного синтеза.

- задачи позиционирования;
- задачи коммутации;

- задачи декомпозиции /композиции;
- задачи установления идентичности.

Для задач позиционирования общими признаками являются:

- задание структуры размещаемого объекта, метрические параметры и топологические свойства его элементов и связей, а также монтажного пространства;
- функциональное назначение элементов, как правило, не имеет значения;
- метрические параметры и топологические свойства, как размещаемого объекта, так и монтажного пространства оказывают существенное влияние на решение задачи;
- разработка целевой функции является сложной проблемой.

Для коммутационных задач характерно следующее:

- определены элементы структуры, их количество, характеристики и топологические свойства; функциональное назначение;
- зафиксированы координаты элементов структуры на плоскости или в пространстве;
- заданы способы и/или правила соединения элементов, характеристики и топологические свойства линий;
- известен либо может быть определён из содержательной постановки задачи вид траектории;
- конструирование целевой функции не ставит серьёзных теоретических проблем, так как задачи, как правило, однокритериальные.

К топологическим свойствам относятся, например, возможность поворота на определённый угол или зеркального отображения конструктивной реализации элемента структуры, подсоединения линий связей только к элементам либо и друг к другу в любой точке или в определённых местах.

Здесь рассматривается такой этап решения задачи коммутации, когда положение элементов объекта в монтажной области уже определено.

В результате решения коммутационной задачи необходимо определить оптимальную траекторию (траектории) связей между элементами структуры.

К таким задачам, например, относятся:

- определение конфигурации соединения элементов, на языке теории графов - это поиск основного или штейнерова дерева;
- поиск маршрута между двумя элементами объекта (маршрута между источником и приёмником сигналов на сети каналов и т.п.), в терминах теории графов - это поиск простой цепи, соединяющей заданные вершины графа;
- определение порядка включения в замкнутый маршрут всех заданных элементов (задача коммивояжера - поиск гамильтонова цикла в ориентированном или неориентированном графе; к ней сводятся многие технологические задачи).

В группу задач декомпозиции структур объектов и композиции их элементов или частей можно включить задачи, имеющие следующие признаки:

- существует структура объекта, представленная элементами текущего уровня детализации и их связями;
- достаточно просто могут быть учтены функциональное назначение, метрические характеристики и топологические свойства элементов структуры и их связей, нередко они просто несущественны;
- конструирование целевой функции в ряде случаев является очень сложной проблемой, что приводит к использованию показателей, не позволяющих объективно судить о достижении оптимального значения критерия качества.

Необходимо разделить структуру объекта на части (декомпозиция) или объединить элементы структуры в «устойчивые» группы (композиция) таким образом, чтобы критерий оптимальности достигал экстремального значения. Число элементов в фрагментах структуры или выделенных группах может быть задано заранее или определяться в ходе процессов декомпозиции/композиции.

Проблемы получения целевой функции при известном критерии качества возникают в случаях, когда критерий связан с функциональными свойствами фрагмента структуры объекта.

Для *задач установления идентичности структур* независимо от предметной области характерно:

- известны структура объектов, функциональное назначение элементов и связей, которое играет определяющую роль в проблеме идентичности структур;
- метрические параметры и топологические свойства, как правило, не существенны либо могут быть заданы в виде признаков и достаточно просто учтены;
- конструирование целевой функции не представляет проблемы.

Описания структур должны быть выполнены на одном и том же уровне детализации, а сами структуры должны состоять из функциональных элементов одного класса, например, схемы электрические функциональные должны быть представлены в элементах из одной библиотеки функциональных ячеек. Таким образом, цель решения задачи идентичности структур - установить, идентичны ли структуры двух объектов. В этом случае целевая функция принимает значение «да» или «нет».

При проектировании систем могут быть поставлены задачи отыскания в структуре объекта фрагмента, идентичного структуре другого объекта, или определения в структурах двух объектов идентичных фрагментов. На языке теории графов эти задачи формулируются как задачи изоморфизма, изоморфного вложения и изоморфного пересечения ориентированных или неориентированных графов, в ходе решения которых строится граф соответствия вершин исследуемых графов.

Учитывая изложенное выше, исходными данными для структурно – параметрической математической модели решения задачи структурного синтеза являются:

- функциональное назначение объекта проектирования;
- наборы элементов и связей, применяемых для построения структуры объекта;
- функциональное назначение, метрические параметры и топологические свойства элементов и их связей;
- возможные правила и/или способы соединения элементов, обеспечивающие с учетом их назначения функционирование объекта;
- правило, служащее для сравнительной оценки качества структуры.

В заключение следует заметить, что общая теория структурно-параметрического синтеза объектов входит в систему современного научного знания как комплексная наука, интегрирующая знания о синтезе объектов различной природы.

1. Объектом исследования общей теории структурно-параметрического синтеза систем является процедура синтеза объектов различной природы.

2. Предметом исследования является разработка методов формализации и автоматизации структурно-параметрического синтеза, путём органичного соединения методов различных дисциплин, как общетеоретических, так и частных теорий проектирования.

3. Синтез конструкции и структурно-параметрическая оптимизация сложных технических систем возможны только на основе современных компьютерных систем и технологий, базирующихся на методах математического моделирования и многокритериальной оптимизации.

Изложенная выше формализованная структурно-параметрическая математическая модель была положена в основу решения задачи автоматизации процесса вибродиагностирования технического состояния горного оборудования и построения программного комплекса диагностики технического состояния горного оборудования [4,5].

Литература

1. Янковская Т.А. Основные задачи структурного синтеза и их классификация // X Международная ФАМЭТ'2011: труды X Международной конференции по финансово-актуарной математике и эвентоконвергенции технологий. –Красноярск: ИВМ СО РАН, СФУ, 2011. С. 308-312.

2. Алексеев А.В., Борисов А.Н. и др. Интеллектуальные системы принятия проектных решений. – Рига: Зинатне, 1997. – 320 с.
3. Норенков И.П. Системы автоматизированного проектирования. Кн. 1. Принципы построения и структура. – М.: Высшая школа, 1986. – 127 с.
4. Янковская Т.А. Математическое моделирование процесса вибродиагностирования технического состояния горного оборудования // Хвойные бореальной зоны. 2012. XXX. №5-6. С. 85-88.
5. Янковская Т.А., Михайленко А.В., Мигунов В.И., Демченко И.И. Программный комплекс диагностики технического состояния горного оборудования (версия 1.0):свидетельство № 2012619062 об официальной регистрации программы для ЭВМ РФ: опубл. 05.10.2012.

On the basis of structural-parametric synthesis in Designing complex technical systems

Tatiana Alexandrovna Jankovskaja, Candidate of physico-mathematical sciences, Associate Professor Siberian federal university, Krasnoyarsk

The paper is considered the formulation and formalization of combinatorial optimization problems. Gives a classification problems of structural design and specify their characteristics.

Keywords: system structure, synthesis, optimization, methods, mathematical modeling tasks.

УДК 519.21

ОЦЕНКА ЧИСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК GERT-СЕТИ НА ОСНОВЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Михаил Георгиевич Доррер, к.т.н., доцент кафедры бизнес-информатики

Тел.: +7 913 5344181, e-mail: mdorrer@mail.ru

Антон Александрович Зырянов, аспирант

Тел.: +7 908 2075060, e-mail: AntonZyryanov@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Сибирский Государственный Технологический Университет» (СибГТУ)

<http://www.sibgtu.ru>

Рассматривается аналитический метод оценки числовых характеристик однородной GERT-сети, в частности математического ожидания и дисперсии. Метод основан на преобразовании GERT-сети к эквивалентной дуге с пересчетом числовых характеристик случайных величин дуг по предложенным формулам.

Ключевые слова: GERT, стохастические сети, бизнес-процесс, эквивалентное преобразование.

Введение

За последние годы для моделирования и оптимизации технических систем все большее распространение получают альтернативные стохастические сети [1], в частности математический аппарат GERT-сетей (GERT–graphical evaluation and review technique).

Подробное описание GERT-сетей представлено в работах Филлипса [2], Neumann [3], Pritsker [4]. В отечественной литературе наибольших научных результатов в развитии аппарата GERT-сетей достиг А.П. Шибанов [5].