

ЗАДАЧА СИНТЕЗА МОДЕЛИ СЕТИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БОРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© 2011 А. Н. Коптев¹, А. В. Кириллов¹, Н. А. Яковенко¹, Д. Ю. Дронов²

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)

² Поволжский государственный университет телекоммуникации и информации

Рассматриваются вопросы синтеза модели сети для контроля и диагностики при производстве бортового комплекса оборудования летательных аппаратов. С общих позиций сформулирована задача синтеза модели сети; представлены условия предпочтения из множества возможных решений задач проектирования сети производства; определены общие подходы к решению частных задач инженерного проектирования и синтеза при построении моделей проектируемых процессов производства на основе тензорного анализа и теории образов.

Задача проектирования, моделирование, диагностируемый объект, синтез сети оборудования, структура объекта, пространство.

Будем понимать под задачей синтеза модели сети для контроля и диагностики бортовых комплексов оборудования летательных аппаратов (БКО ЛА) цель, данную в определённых условиях, и представим её как трёхкомпонентную систему:

$$\langle D_a; D_{тр}^*; D_{усл} \rangle, \quad (1)$$

где

D_a – некоторый предмет задачи в актуальном (текущем, исходном) состоянии;

$D_{тр}^*$ – императивная (виртуальная) модель желаемого состояния этого предмета или модель потребного будущего;

$D_{усл}$ – условия, ограничения, которые должны быть выполнены в процессе перевода предмета задачи из его актуального состояния в требуемое.

По отношению к задаче проектирования (ЗП) компоненты системы (1) интерпретируются следующим образом:

D_a – заявка на объект проектирования (ОП), представляющая потребности и мотивы, относящиеся к некоторому фрагменту действительности. Эту заявку в ЗП

представляет целевая модель искомого объекта $M(0)_ц$;

$D_{тр}^*$ – продуктивная модель ОП $M(0)_{пр}$ – комплект технической документации для изготовления или использования сети в производственных условиях, которая отвечает требованиям определённых стандартов (ЕСКД, ЕСТД или др.);

$D_{усл}$ – условия реализации задачи или ограничения на временные, трудовые, материальные ресурсы Q , выделяемые для решения данной ЗП.

Под ЗП любых сетей, в том числе сетей передачи информации при контроле и диагностике, в дальнейшем понимается задача построения продуктивной модели сети $M(0)_{пр}$, для которой определена целевая модель $M(0)_ц$ и установлены условия или ресурсы Q решения задачи. ЗП в обобщённой постановке может быть представлена кортежами:

$$ЗП = \langle M(0)_ц, M(0)_{пр}, Q \rangle = \langle \langle F_n M'(0), Z', Y', X', G \rangle, M(0)_{пр}, Q \rangle, \quad (2)$$

где компоненты Z' , Y' , X' , G являются в общем случае векторами, имеющими свои размерности.

Требования к функциональным свойствам ОП задаются в постановке ЗП в форме модели $F_n M'(0) \in Y_n \times Z$. Требования к условиям функционирования ОП Z' задаются допустимыми областями множества возможных состояний среды (внешних Z_y или окрестностных Z_0 условий), а также продолжительностью функционирования Y''_n .

Требования к свойствам ОП помимо $F_n M'(0)$ ограничивают:

а) допустимую область множества возможных значений внешних (существенных и утилитарных) свойств ОП Y' для всех $z \in Z$;

б) допустимую область множества возможных значений внутренних (сущностных) свойств объекта X' , которые характеризуют принципы его построения и обуславливают обладание множеством внешних свойств Y , согласованных с $F_n M'(0)$.

Границы допустимой области множества значений сущностных свойств объекта X' часто определяются ресурсами, необходимыми для изготовления или использования ОП. В общем случае ограничения могут касаться ресурса какого-либо одного вида (материалоёмкости интегральной или по конкретным классам материалов, трудоёмкости, энергоёмкости, фондоёмкости и т. д.) или одновременно нескольких видов.

Условия решения ЗП задаются допустимой областью значений ресурсов Q , выделенных для использования в процессе проектирования объекта. В качестве таких ресурсов обычно рассматриваются продолжительность решения, общая трудоёмкость, полная стоимость решения ЗП. При этом стоимость проектирования может выражаться не только в виде денежных расходов, но и в количестве дефицитных материалов, времени использования уникального оборудования и т.п.

Условия предпочтения в допустимой области множества возможных решений ЗП определяются следующим:

1. Критерием эффективности или совершенства (КС), функцией ценности или качества объектов G , которая обобщённо характеризует ценность данного ОП по ряду особо выделяемых его внешних и / или внутренних свойств, а также параметров функционирования (Y'' , X'' , Z''). Последние признаются важнейшими по отношению к основной цели создания ОП, поэтому требование к ним представляется невозможным или нецелесообразным формулировать только в виде ограничений. В общем случае

$$G = X'' \times Y'' \times Z'' . \quad (3)$$

Предпочтение должно быть отдано проектному решению с таким набором значений внешних $\bar{y} \in Y$ и внутренних $\bar{x} \in X$ свойств, реализуемых при $\bar{z} \in Z$, что

$$\bar{G}(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}) > G(X, Y, Z) \quad (4)$$

для всех допустимых $\bar{y} \in Y$, $\bar{x} \in X$, $\bar{z} \in Z$.

2. Оценочной функцией M , соотносящей внешние и внутренние свойства ОП при $\bar{z} \in Z$ с затратами (ресурсами) Q , необходимыми для реализации процесса проектирования. В общем случае

$$M(X \times Y \times Z) \rightarrow Q . \quad (5)$$

Таким образом, оценочная функция M характеризует затраты, определяемые в виде различных ресурсов (временных, трудовых, материальных и т.п.), на создание объекта с данным набором свойств. Предпочтение должно быть отдано проектному решению с таким набором внешних $\bar{y} \in Y$ и внутренних $\bar{x} \in X$ свойств, реализуемых при $\bar{z} \in Z$, что

$$\bar{M}(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}) > M(X, Y, Z) \quad (6)$$

для всех допустимых $\bar{y} \in Y$, $\bar{x} \in X$, $\bar{z} \in Z$.

Таким образом, всё многообразие глобальных целевых ориентаций ЗП любых ОП сводится к двум:

а) максимизировать эффективность G проектируемого объекта (допустимые затраты на процесс проектирования Q задаются в виде ограничений);

б) минимизировать затраты Q (временные, трудовые, материальные), необходимые для реализации процесса проектирования (требования к внешним Y , внутренним X свойствам и условиям функционирования Z ОП задаются в виде ограничений).

В качестве образующей базы решения задачи синтеза любой сети используем то направление тензорного анализа, которое основал Г. Крон [1].

Для синтеза сети введём тензор синтеза C'_s или, как его компоненты, тензор соединения или тензор преобразования, который занимает особое место среди тензоров, отождествляемых с компонентами этой сети.

Отметим, что теорией этих сетей является теория тензора преобразования C_a^a . Фундаментальная подобность сетей, описываемых тензором C_a^a , позволяет высказать предположение о существовании математического и физического подобия в технологии проектирования этих сетей и её базовой составляющей – синтеза сети.

Математическая формулировка общей задачи синтеза сети объекта обеспечивается гипотезой [2], трансформируемой для целей данной работы следующим образом.

Процесс синтеза сети объектов контроля и, в частности, объектов БКО ЛА есть процесс преобразования заданного пространства компонентов в пространство, состоящее из подпространств для решения конкретных задач, который может быть представлен тензорным уравнением, описывающим изменения пространства-структуры, в которое вложены как образующие, так и их соединения для реализации конкретной цели.

Таким образом, под процессом решения задачи синтеза или эквивалентным ему понятием процесса проектирования (ПП) будем понимать совокупность последовательно меняющихся состояний задачи, а значит моделей объекта проектирования, рассматриваемых в прямой связи с действиями, реализующими эти изменения, в основе которых лежит представление о пространстве-структуре.

В рамках этого представления объекты БКО ЛА можно описать с помощью следующего математического формализма.

Представим всё пространство в целом состоящим из континуального множества точек N . Однако носителем физических свойств пространства служит дискретное подмножество M , каждая точка которого является не только геометрической, но и вещественной:

$$N = S_q \cup M_q; S_q \cap M_q = \emptyset; q = 1, 2, 3, \quad (7)$$

где

S_q – подмножество, дополнительное к M_q ; \emptyset – пустое множество.

Индекс q имеет следующий смысл. Описание всего пространства через подпространства S_1 и M_1 оказывается недостаточным, т.к. связность подпространства нарушается тем, что дополняется подпространством M_1 . Подпространство объекта или системы БКО ЛА состоит из конечного множества точечных, дискретно расположенных компонентов, каждый из которых представляет собой реальный элемент этого объекта или системы. Эти компоненты обладают конкретными специфическими свойствами, описание которых требует ввода подпространства, дополнительного к подпространствам как S_1 , так и M_1 . Следовательно, для описания точки опорного пространства-компонента производится такое переопределение координат этого компонента, при котором дополнительное пространство (S_2 и M_2) описывается уже другой n -матрицей и другим геометрическим комплексом, т.е.

становится другим, хотя по-прежнему евклидовым R^3 пространством. После описания каждого компонента объекта или системы рассматривается единое подпространство компонентов – свободное пространство объекта или системы.

Сходное положение наблюдается и с описанием в третьем подпространстве с той (существенной) разницей, что в нём рассматриваются не только компоненты объекта или системы, но и единое пространство электрических цепей. При этом соединение узлов компонентов (структура) задаёт само пространство электрических цепей, размерность которого определяется числом линейно независимых путей распространения в этой структуре электрических сигналов. Таким образом, каждое из подпространств (континуальных S_q и дискретных M_q) заполняет всё пространство N . Но в областях, принадлежащих дополнительным подпространствам, рассматривается только аналитическое продолжение данного подпространства. Следовательно, принцип дополненности отображён рядами дополнительных одна к другой величин, характеризующих объект или систему БКО ЛА в различных подпространствах. Каждый ряд физических величин, имеющих один и тот же смысл, выражен n -матрицей, а путь для электрических сигналов в геометрическом (топологическом) смысле представляет собой кривую, составленную из некоторого числа симплексов.

Одновременное рассмотрение всех характеризующих объект или систему величин возможно лишь очень большим числом n -матриц. Организация этих величин в n -матрицы позволяет вводить новые дополнительные понятия при описании БКО ЛА в рамках представлений о пространстве-структуре, само существование которых определяется этой организацией. С помощью n -матриц систематическим обозначением устанавливаются соотношения между известными величинами, удовлетворяющие некоторому критерию и обеспечивающие требуемое поведение объекта или системы БКО ЛА.

Суть применения топологии и тензорного анализа сетей при формализации описания БКО ЛА заключается в следующем. Все различные объекты или системы БКО ЛА рассматриваются как проекции обобщённого объекта или системы в частных системах координат пространства, структура которого различна и усложняется в зависимости от этапа их представления: для этапа макропредставления представление компонентов обычное (евклидово и дискретное), для представления электрических цепей – пространство-структура. Математический аппарат теории допускает существование в пространстве нескольких подпространств, взаимно и последовательно ограниченных и дополнительных одно к другому $S_1 \cup M_1, S_2 \cup M_2, \dots, S_n \cup M_n$. Набор таких подпространств $S_q \cup M_q$ достаточен для полного описания БКО ЛА в задачах контроля и испытаний. Число подпространств, необходимое для полного описания N точек, определяется критерием: последнее подпространство $S_n \cup M_n$ должно описывать все соединения компонентов, т.е. отражать сетевую структуру объекта или системы.

Для решения теоретических и практических задач при описании БКО ЛА в рамках представлений о пространстве-структуре введём основные математические объекты и соотношения. Предложенная выше методика представления объектов и систем БКО ЛА опирается на эволюцию их представления от совокупности точек, связанных структурой отношений. Структура отношений, развиваясь, переходит в понятие пространство сетей, т.е. физически – в пространство-структуру. Оно включает компоненты сети, электрические проводники, соединённые тем или иным способом. Пространство сетей дискретно, поскольку существует только вдоль выделенных электрических проводников – геометрических линий, помещённых в обычное геометрическое пространство. Геометрические линии (электрические проводники) и последовательности

линий в этом пространстве образуют пути (электрические цепи), по которым распространяются сигналы и потоки электрической энергии. С точки зрения геометрии объектами этого пространства, его линиями, состоящими из точек, являются пути.

Для решения задач, связанных со структурами, состоящими из соединённых элементов, будем пользоваться методами комбинаторной топологии и теории гомологии.

Введём топологические эквиваленты понятий, связанных со структурами объектов и систем БКО ЛА. Для изучения геометрических свойств объектов или систем будем рассматривать их как объединение очень простых элементарных фигур – симплексов. При этом узлам – монтажным точкам объекта или системы БКО ЛА – будем ставить в соответствие нульмерный симплекс $[a_0]$; проводнику, соединяющему два узла – одномерный симплекс $[a_0; a_1]$, а электрической цепи – формально составленную сумму ориентированных одномерных симплексов:

$$C^1 = a_1 \cdot S_1^1 + a_2 \cdot S_2^1 + a_k \cdot S_k^1, \quad (8)$$

где

S_1^1, S_2^1, S_k^1 – одномерные ориентированные симплексы;

a_1, a_2, a_k – целые числа.

Границей одномерного симплекса $S = [a_0; a_1]$ называется нульмерная последовательность вида

$$\partial S = a_1 - a_0, \quad (9)$$

а граница последовательности (8) определяется формулой

$$\partial C^1 = \sum_{i=1}^{i=a} a_i \partial S_a^1. \quad (10)$$

Сумма C^1 ориентированных симплексов, в которой все коэффициенты a_k – целые числа, называется i -мерной цепью. Такая цепь каждому i -мерному симплексу S_k^i ставит в соответствие целое

число a_k , причём $a_k \neq 0$ для конечного числа симплексов и $a_k(-S_k^i) = -a_k(S_k^i)$.

Формальная линейная сумма (8) – удобный вид записи электрической цепи, состоящей из одномерных симплексов.

Множество ν цепей с произвольными целыми коэффициентами a_k представляет собой группу цепей по сложению:

$$C^1(K) = \sum_{\nu} \left\{ \sum_{k=1}^a a_k \cdot S_k^1 \right\}, \quad (13)$$

где $\sum_{k=1}^a a_k \cdot S_k^1$ – k -я электрическая цепь объекта или системы.

В теории представлений БКО ЛА рассматриваются только детерминированные объекты и системы, которые можно представить как упорядоченные пары

$$A = \langle S, f \rangle, \quad (14)$$

где

S – множество одномерных симплексов,

f – функция, описывающая S .

Областью значений многозначной функции f является множество z натуральных чисел

$$f : S \rightarrow z. \quad (15)$$

Для каждого симплекса $S_i \in S$ функция f ставит в соответствие натуральные числа z_i :

$$f(S_i) = z_i. \quad (16)$$

Топологический эквивалент объекта или системы, для которой определена описывающая функция f при решении практических задач анализа этих объектов и систем, называется детерминированным графом или просто графом объекта или системы.

Совокупности симплексов произвольной размерности S^n (двухмерных, трёхмерных) обладают теми же свойствами, что и совокупности одномерных симплексов. Они позволяют изучать сложные фигуры теми же методами, которые ис-

пользовались для изучения фигур, построенных из одномерных симплексов.

Таким образом, при синтезе модели сети для контроля и диагностики используются алгебраические методы представления объектов как регулярных структур, разбиение которых на образующие их конфигурации в соответствии с теорией образов У. Гренандера [3], позволяют выделять в них электрические цепи и модули, подлежащие контролю. Это существенно упрощает процедуру построения программ контроля и диагностики сложных систем БКО ЛА.

Библиографический список

1. Крон, Г. Тензорный анализ сетей [Текст]: [пер. с англ.] / Г. Крон – М.: Советское радио, 1978. – 720 с.
2. Коптев, А. Н. Монтаж, контроль и испытания электротехнического оборудования ЛА [Текст] / А. Н. Коптев, А. А. Миненков, Б. Н. Марьин, Ю. Л. Иванов – М.: Машиностроение, 1998. – 296 с.
3. Гренандер, У. Лекции по теории образов [Текст]: [пер. с англ.]. В 3-х т. Т.1 Синтез образов / У. Гренандер. – М.: Мир, 1979. – 383 с.

PROBLEM OF SYNTHESIS OF A MODEL FOR CONTROL AND DIAGNOSTICS IN THE MANUFACTURE OF ONBOARD EQUIPMENT

© 2011 A. N. Koptev¹, A. V. Kirillov¹, N. A. Yakovenko¹, D. Yu. Dronov²

¹Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

²Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics

The paper is devoted to problems of synthesis of a model of a network for control and diagnostics in the manufacture of onboard equipment. The problem of synthesis of a network is formulated; conditions of preference on the basis of a set of possible solutions of problems of designing a manufacturing network are presented; general approaches to the solution of particular problems of engineering designing and synthesis during the construction of models of production processes being designed on the basis of tensor analysis and the pattern theory are defined.

Designing problem, simulation, diagnosed object, synthesis of a network of equipment, object structure, space.

Информация об авторах

Коптев Анатолий Никитович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации авиационной техники. Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: теория представлений, моделирование, контроль и диагностика бортовых комплексов оборудования в производстве и эксплуатации летательных аппаратов. E-mail: eat@ssau.ru.

Кириллов Алексей Владимирович, ассистент кафедры эксплуатации авиационной техники. Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: технология контроля и диагностики, разработка систем динамического контроля и диагностики пилотажно-навигационных комплексов в производстве и эксплуатации. E-mail: aL63-2010@mail.ru.

Яковенко Николай Александрович, аспирант. Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: разработка систем динамического контроля и диагностики систем электроснабжения в производстве и эксплуатации. E-mail: eat@ssau.ru.

Дронов Дмитрий Юрьевич, аспирант. Поволжский государственный университет телекоммуникации и информатики. Область научных интересов: проектирование сетей связи промышленных предприятий. E-mail: eat@ssau.ru.

Koptev Anatoly Nikitovitch, doctor of technical sciences, professor, head of the aircraft maintenance department, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University), eat@ssau.ru. Area of research: representational theory, modeling, technical diagnostics and assessment in the process of airborne equipment production and technical maintenance.

Kirillov Alexei Vladimirovitch, assistant of the aircraft maintenance department, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University), aL63-2010@mail.ru. Area of research: technical diagnostics and assessment technologies, development of flight-navigation complex dynamic diagnostic systems in the process of production and technical maintenance.

Yakovenko Nikolay Alexandrovitch, post-graduate student of Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University), eat@ssau.ru. Area of research: development of electrical supply system complex dynamic diagnostic systems in the process of production and technical maintenance.

Dronov Dmitriy Yuryevitch, post-graduate student of Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, eat@ssau.ru. Area of research: designing communication networks of industrial enterprises.