УДК 004.9

ОБОБЩЁННАЯ ЗАДАЧА СИНТЕЗА ВИРТУАЛЬНОЙ СЕТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

© 2011 А. Н. Коптев[1], Д. Ю. Дронов[2]

[1] Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)
[2] Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Рассматривается формальный метод проектирования мультисервисных сетей, основанный на использовании методов и средств «общей теории образов», которая позволяет решать задачи синтеза частной виртуальной сети производственного комплекса.

Виртуальные сети, синтез, теория образов, идентификатор, тензорный анализ.

Одной из центральных задач в условиях модернизации машиностроительного комплекса является задача широкого внедрения информационных технологий. Средством успешного решения этой задачи является создание виртуальных частных сетей, объединяющих все источники производственной информации по изготовлению сложных изделий. Такая сеть должна обеспечить безопасность, доступность, предсказуемую пропускную способность, конфиденциальность. С точки зрения заказчика виртуальная частная сеть должна представлять единую логическую сеть предприятия, независимую от расположения компьютеров и непосредственных соединений.

Задача синтеза частной виртуальной сети может быть сформулирована следующим образом. Пусть имеется k типов непосредственных компонентов, из которых можно строить сеть передачи информации. Если сеть состоит из n_1 устройств первого типа, n_2 устройств второго, ..., n_k агрегатов k-го типа, то её можно характеризовать вектором $n = (n_1, n_2, \mathbf{K}, n_k)$. В рамках такого подхода к построению сети определённого назначения могут быть синтезированы различные схемы реализации.

Задаваясь множеством N допустимых векторов n_i, рассмотрим только те системы, которые характеризуются векторами $n_i \in N$. Пусть далее в функциональном пространстве точек вида $\{L_x(Y)\}$ задано множество K точек этого пространства. Точкой этого пространства является «вектор» $\{L_x(Y)\}$, где x – «номер координаты». Например, если рассматривается лишь конечное число входов X_1, X_2, …, X_r то этот вектор будет иметь вид $\{L_x(Y), L_{x_2}(Y), ..., L_{x_r}(Y)\}$. Функция $\{L_x(Y)\}$ обозначает совокупность всех конечномерных распределений $Y = Y(t)$ при фиксированном $X = X(t)$.

Для того чтобы сформулировать задачу оптимального синтеза, необходимо ввести во множество N операцию упорядочения: из двух различных векторов n_1, n_2 вектор $n_1 \mathbf{p}\, n_2 \to n_1 < n_2$. Сформулированная задача синтеза, и тем более оптимального синтеза, является весьма общей, и в настоящее время эффективных методов её решения не существует. К решению этой задачи применяется общий принцип, базирующийся на установлении предпочтения как строго частичного упорядочения.

В данной статье рассматривается решение задачи в рамках точного формализма построения виртуальной частной сети на основе теории синтеза образов [1, 2, 3].

Объектом исследования в данной работе являются частные сети, рассматриваемые в рамках точного формализма, который будет использоваться в качестве концептуальной основы для синтеза этой сети.

С общих позиций любая сеть состоит из образующих, т.е. некоторых стандартных устройств. В каждом конкретном случае они выбираются из стандартного набора образующих, который обеспечивает однозначно определённый результат при синтезе частной сети.

Непроизводные компоненты – стандартные схемные модули, используемые для построения виртуальной частной сети предприятия, – назовём образующими сети (ОС). Множество всех ОС S состоит из непересекающихся классов $S^a, S^a \subset S$, где a – общий индекс класса ОС. Непересекающиеся классы:

$$S = \bigcup_a S^a, S^a \; . \tag{1}$$

ОС – это некоторые стандартные устройства, обладающие определёнными свойствами. Важнейшими из них, как правило, являются свойства двух типов.

К первому типу свойств отнесём признаки. ОС ставится в соответствие признак $p = p(S)$. Одной из составляющих признака служит индекс класса ОС, а другие составляющие представляют более специфическую информацию.

Второй тип свойств связан с входами и выходами ОС для возможных соединений между ОС.

Каждому подобному (потенциально возможному) соединению соответствует показатель связи, обозначаемый обычно символом b с соответствующим нижним индексом.

Кроме этого введём показатель, характеризующий максимально возможное число соединений ОС, величина которого равна

$$b_{\sum} = b_i^{in} + b_i^{out} \; . \tag{2}$$

Пронумерованное определённым образом множество связей S всякой ОС, образует структуру связей ОС. Структура связей не определяет значения показателей, поставленных в соответствие отдельным связям.

В дополнение к свойствам образующих необходим также идентификатор или имя для того, чтобы иметь возможность различать используемые образующие.

Чтобы дать интуитивное представление о свойствах ОС, введём графический формализм (рис. 1).

Это графическое представление не следует рассматривать как образующую, окружённую своими связями, т.к. связи являются частью собственно ОС.

Для нашего случая ОС определена применительно к некоторой среде X. Опорное пространство X может быть практически любым.

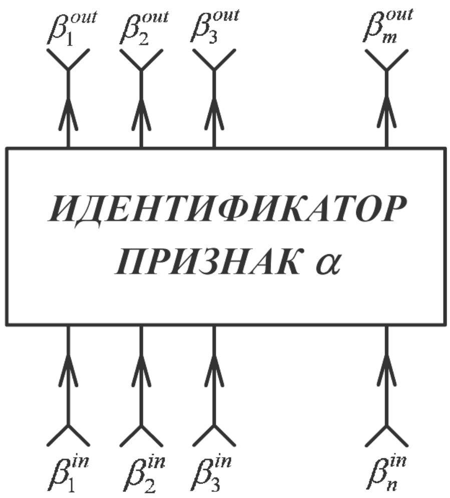


Рис. 1. Графическое представление образующей сети

Рассмотрим с общих позиций наиболее часто встречающиеся ОС, которые состоят из отображений опорного пространства X в сопоставленное пространство Y. В этом случае будем говорить об образующих-соответствиях или образующих-функциях. В качестве более общего многомерного аналога ОС введем понятие универсальной ОС.

Всякая ОС для рассматриваемого случая есть оператор с v (переменными) входами $x_1, x_2, ..., x_v$ и m (переменными) выходами $y_1, y_2, ..., y_m$. Область значений всякого x_i есть некоторое пространство X_i, область значений всякого y_i – некоторое пространство Y_i. В частности, существуют операторы назначения, не имеющие входов (однако обычно обладающие некоторыми признаками). Преобразования подобия воздействуют только на операторы назначения, оставляя все остальные ОС без изменения. В результате реализации этих преобразований признаки оператора назначения обычно изменяются.

Отметим возможность использования этого аналога ОС для случая, когда X_i и Y_i определены как множества случайных переменных.

Для синтеза виртуальной частной сети проектировщик вырабатывает последовательность ОС, обеспечивающих однозначно определённый результат. Простейшим случаем (для конечного или счётного S) является полное перечисление, при котором порядок определяется или произвольно, или на основе некоторого признака. В результате будет получено само S.

Каждый первичный элемент из S может воспринимать входные сигналы и находится в определённом состоянии в зависимости от них. Входные сигналы имеют вид вектора $X=\left(x_0, x_1, ..., x_{x_0}\right)$, компонент x_0 – дискретный параметр, остальные компоненты x_i, $i \geq 1$ – вещественные числа. Состояние ОС в момент времени, предшествующий моменту поступления сигнала X, описывается вектором Z с компонентами $\left(z_0, z_1, ..., z_{z_0}\right)$, где z_0 – также дискретный параметр.

При поступлении сигнала X на вход системы реализуется случайный вектор $x=(x_1, x_2, ...)$ с размерностью и распределением, которые полностью определяются компонентами z_0 и x_0. Далее формируется вектор K в виде

$$K = K\left(z_1, z_2, ...;\ x_1, x_2, ...;\ x_1, x_2, ...\right). \quad (3)$$

Затем составляется конечное число линейных форм L_i, от компонент вектора (возможно, со свободными членами). Вид этих линейных форм полностью определяется компонентами z_0 и x_0. Вектор $(n_1, n_2, ..., n_v)$ принимает следующие значения:

$$v_i = \begin{cases} 1, \text{ если } L_i > 0, \\ 0, \text{ если } L_i \leq 0. \end{cases} \quad (4)$$

Новое значение z' внутреннего состояния ОС после воздействия входного сигнала определяется следующим образом:

$$z' = \left(z'_0, z'_1, ..., z'_{|z_0'|}\right),$$

где

z'_0 выбирается по случайному закону, зависящему лишь $z_0, x_0, v_1, v_2, ...$,

$z'_i, i \geq 1$ определяются как линейные комбинации компонент вектора K с коэффициентами, полностью определёнными значениями z_0, x_0, v_1, v_2. В узловой момент времени, т.е. в момент, когда какая – либо из непрерывных координат вектора $z(t)$ обращается в нуль, на выход посылается сигнал вида:

$$Y = \left(y_0, y_1, y_2, ..., y_{|y_0'|}\right), \quad (5)$$

где

y_0 – дискретный параметр,

$y_1, ..., y_{|y_0'|}$ – вещественные числа.

Параметры $y_i \left(i = 0, 1, 2, ..., |y_0|\right)$ формируются следующим образом. Пусть $Z = \left(z_0, z_1, ..., z_{|z_0'|}\right)$ – состояние ОС в момент, предшествующий обращению некоторой переменной в нуль. Тогда y_0 выбирается из некоторого конечного или счётного множества по случайному закону, полностью определяемому заданием z_0. После выбора y_0 параметры y_i $(i \geq 1)$ определяются как линейные комбинации с коэффициентами, зависящими от y_0 и, возможно, от z_0.

Располагая ОС описанного вида, можно формально построить виртуальную частную сеть, понимая её как совокупность ОС, связанных таким образом, что выходы одних соединены с входами других. В основе такого построения сети лежат правила, ограничивающие способы соединения ОС между собой. Эти правила приводят к типичным регулярностям и представляют их комбинаторную структуру – множество регулярных конфигураций, каждая из которых определяется своим составом и структурой.

Остановимся более подробно на синтезе конфигураций, удовлетворяющих определённой регулярной функции.

Для того, чтобы выделить класс регулярных или допустимых конфигураций, можно воспользоваться двумя способами. Можно начать с множества всех конфигураций и выделить те, которые удовлетворяют набору заданных ограничений. Это есть определение через ограничения. С другой стороны, можно начать с пустого множества и последовательно добавлять новые конфигурации, используя некоторое правило порождения. Это есть порождающее определение.

Через R будем обозначать систему правил или ограничений (или тех и других), определяющую, какие конфигурации следует считать регулярными. Множество регулярных конфигураций, получаемых с помощью множества R, будем обозначать через $b(R)$ или через $b_n(R_n)$, где n - число образующих (если оно определено). Множество $b(R)$ характеризует регулярность создаваемой сети.

При этом структура конфигурации представляет собой множество s соединений, существующих между всеми или некоторыми связями образующих, входящих в её состав. Если перенумеровать связи как b_{ij}, то множество s можно задать списком вхождений вида $(b, b') = ((i, j), (i', j'))$ или двумерной матрицей – тензором соединения порядка (b_i, b_j), в котором единицы и нули указывают на наличие или отсутствие соединения в определённых парах связей.

Множество всех допустимых соединений s обозначим через $\sum$ и будем называть его типом соединения конфигураций в рассматриваемом множестве регулярных конфигураций $b(R)$, определяющих состав и структуру сети в целом. С формальной позиции тип соединений $\sum$ представляет собой объединение допустимых соединений s_n, где всякое множество s_n есть множество графов, заданных на n вершинах ОС.

Поскольку каждая конфигурация выполняет свою функцию, то множество регулярных конфигураций, получаемых через систему правил или ограничений, будет отражать функцию синтезируемой, виртуальной частной сети как большой системы. При этом такую систему на некотором уровне формального описания вполне естественно можно считать ОС в формализме более высокого уровня.

Определим формально функцию такой системы, которая на этом этапе рассмотрения представляется многомерным аналогом ОС, введённым выше, представляющим систему в целом. Рассматриваемой ОС принадлежит множество S устройств сети, одно из которых изображено на рис. 2.

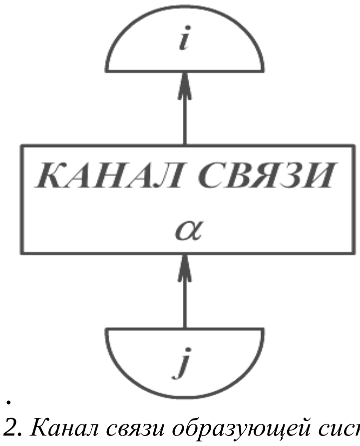


Рис. 2. Канал связи образующей системы

Признаком образующей S является X – вектор входного сигнала. Интерпретация такого типа соединения состоит в том, что переход из состояния в состояние происходит в момент времени t.

Обозначим через $X(t)$ вход, через $Y(t)$ выход системы, определив каждый из этих процессов как 0, если в момент времени t на вход (выход) не поступает никаких сигналов, и как $x(y)$, если в момент времени t на вход (выход) поступает соответствующий сигнал.

При этом будем считать допустимым в заданном интервале времени любой входной (выходной) процесс, который характеризуется поступлением конечного числа сигналов.

Задав ОС, введём определённые правила, ограничивающие способы их соединения между собой. Эти правила приводят к типичным регулярностям образов и представляют их комбинаторную структуру. Получаемые в результате регулярные конфигурации являются абстрактными конструкциями. В какой степени регулярные конфигурации могут быть идентифицированы наблюдателем – зависит от системы наблюдения. Результаты наблюдения, соответствующие некоторому множеству регулярных конфигураций, с общих позиций, представляет собой класс эквивалентности I на множестве правильных конфигураций $b(R)$ в смысле правила идентификации R, т.е. формальное описание объекта проектирования или формальный объект (ФО). Такое описание соответствует наблюдениям в идеальных условиях; оно может быть точным настолько, насколько хорошо исследователь или «заказчик» знают свой объект. Следовательно, речь идет о потенциально достижимом описании объекта.

Синтезированный ФО, не учитывающий поведение его в реальных условиях, будет иметь ограниченные приложения.

Рассмотрим алгоритм решения задачи синтеза виртуальной частной сети для передачи информации подразделениям предприятия.

При синтезе виртуальной сети следует различать энергетическую и информационную сторону вопроса. Первая связана с наличием исполнительных устройств, способных выполнить какие-либо операции, вторая – с целесообразностью того или иного вида распределения операций между этими устройствами. Первая задача состоит в выборе такого набора устройств при условии оптимального управления потоками, при котором система полностью справлялась бы с обслуживанием. Это положение математически можно выразить в виде условия существования эргодического распределения соответствующего кусочно-линейного марковского процесса.

В широком классе случаев данная задача решается при помощи расчёта по средним характеристикам.

Существуют методы, по которым можно убедиться в том, что система с заданным составом приборов может справиться с определённым потоком требований. Эти методы основаны главным образом на рассмотрении случайных блужданий в многомерном пространстве. Такой подход базируется на условии наличия функциональной схемы такой системы.

Предлагаемый метод связан с формированием как состава сети, так и её структуры. Исходным для формирования регулярных конфигураций является множество ОС и система правил и ограничений R, определяющих, какие конфигурации следует считать регулярными. Применяя множество R, структурируем конфигурацию (c) путём соединения ОС. Структура конфигурации представляет множество соединений, существующих между всеми или некоторыми связями ОС, входящими в её состав.

Если для конфигурации c заданы

$$\text{состав } (c) \text{ и структура } (c) = s\ , \qquad (6)$$

то её регулярность определяется взаимным соответствием соединённых связей. Последнее определяется отношением согласования или отношением связи r, зависящим от двух соответствующих связей и записываемым как brb'.

Часть связей конфигурации $c \in b(R)$ участвует в соединениях, предусмотренных структурой s; эти связи являются внутренними связями конфигурации. Остальные связи конфигурации являются её внешними связями. Множество внешних связей и соответствующих показателей связи обозначим через *ext(c)*.

Регулярные конфигурации будут представляться графически с помощью схемы конфигурации, на которой показаны все ОС и их связи, как внутренние, так и внешние.

Рассмотрим пример формирования сети. Пусть даны две конфигурации c_1, $c_2 \in b(R)$ и множества $B(c_1)$ и $B(c_2)$, образованные внешними связями конфигураций c_1 и c_2, соответственно. Пусть s_{12} представляет собой список соединений связей, принадлежащих множеству $B(c_1)$, со связями, принадлежащими множеству $B(c_2)$, при условии, что устанавливаются только попарные соединения, и, следовательно, групповые соединения отсутствуют. В таком случае объединенную конфигурацию можно представить как $c_1 s_{12} c_2$, причём:

$$\text{состав}\,(c_1 s_{12} c_2) = \text{состав}\,(c_1) \cup \text{состав}\, c_2; \tag{7}$$

$$\text{структура}\,(c_1 s_{12} c_2) = \text{структура}\,(c_1) \cup \text{структура}\ c_2 \cup s_{12}. \tag{8}$$

Отсюда следует, что $c_1 s_{12} c_2 \in b(R)$ в том и только том случае, если условие

$$\text{структура}\, c_1 s_{12} c_2 \in \sum \tag{9}$$

выполняется для всех новых связей, соединённых в соответствии с s_{12}.

Вместо списка s_{12} будем использовать тензор соединений, представляемый множеством сингулярных 2-мерных матриц [4]. В таком случае вместо s_{12} или соответствующей ей 2-матрицы можно использовать для построения типа соединений системы символ «+».

Распространив понятие показателя возможного числа соединений (2), введённых на множестве ОС – *S*, на множество регулярных конфигураций $b(R)$, получим соотношение, как для входных, так и для выходных связей.

Суммарный показатель соединений конфигурации c называется, как и в случае образующих, показателем, характеризующим максимальное число внешних связей. Оно слагается из входного и выходного показателя связи конфигурации.

Сделаем несколько простых заключений относительно свойств $b(R)$ пространства конфигурации.

Если для двух регулярных конфигураций c_1 и c_2 справедливы условия (напомним, что структура c есть множество):

$$\left.\begin{aligned} \text{состав}\ (c_1) &\subseteq \text{состав}\,(c_2) \\ \text{структура}\ (c_1) &\subseteq \text{структура}\,(c_2) \end{aligned}\right\}, \tag{10}$$

то можно записать, что $(c_1) \subseteq (c_2)$. В этом случае будем говорить, что конфигурация c_1 является подконфигурацией конфигурации c_2. Это вводит в $b(R)$ частичный порядок. Эта операция всегда приводит к увеличению информации или, что точнее, никогда не приводит к её потере.

Рассмотрим вопросы конгруэнтности, т.е. получения регулярных конфигураций при их соединении. Рассмотрим две конфигурации c_1 и c_2, принадлежащие или не принадлежащие к $b(R)$ и имеющие одну и ту же $\sum$ – структуру и одинаковую структуру внешних связей.

Объединим конфигурации c_1 и c_2 одним и тем же способом с некоторой конфигурацией c так, чтобы полученный в результате тип соединения принадлежал $\sum$. Если в результате этого обе полученные конфигурации принадлежат $b(R)$ либо обе не принадлежат этому множеству, и это справедливо для любой конфигурации c, можно считать, что конфигурация c_1 конгруэнтна конфигурации c_2. Это приводит к отношению эквивалентности, так что S разбивается на непересекающиеся классы конгруэнтности. Если в качестве c используется пустая конфигурация, то из конгруэнтности конфигураций c_1 и c_2 следует их одновременная регулярность либо нерегулярность.

При определении конгруэнтности конфигураций c_1 и c_2, во-первых, очевидно, что если одна из них принадлежит $b(R)$, а другая – нет, то эти конфигурации неконгруэнтны. Кроме того, если обе конфигурации нерегулярны, так что одно или несколько соединений нарушают отношение согласования r в каждой конфигурации, то объединённые конфигурации автоматически должны быть также нерегулярными. Следовательно, необходимо рассматривать только случай регулярности обеих конфигураций.

Для формального построения схем виртуальной частной сети из конфигураций, синтезированных из множества ОС – универсальных операторов, введённых выше, рассмотрим универсальную задачу – соединение, предусматривающее введение частичного порядка между этими операторами, представляющими отдельные конфигурации сети.

Пусть ОС – универсальные операторы с числом входов равным n, если ОС имеет n входов.

Соответствующими показателями связей являются области определения $X_1, X_2, \mathbf{K}, X_n$, взятые в соответствующем порядке. Аналогичным образом число выходов ОС равно m, если имеется m её выходов; показатели выходных связей равны соответственно $Y_1, Y_2, \mathbf{K}, Y_m$. Соединение s является допустимым, если образующие его ориентированные стрелки частично упорядочены. В качестве отношения связи r выбирается включение, следовательно, brb', если $b \subseteq b'$.

Введём некоторые понятия и определения, с помощью которых сформулируем задачи синтеза сложной системы. Эти понятия распространены на новый класс объектов, названных в данной работе конфигурациями.

Формализуем правило идентификации для двух различных конфигураций c и c' из $b(R)$:

$$c \equiv c' (\operatorname{mod} R) \text{ или } cRc',$$

если c и c' идентифицируются при помощи этого правила, указывающего, каким образом исследователь может различать допустимые для решения конкретных задач конфигурации.

Для того чтобы некоторые отношения были правилом идентификации, должно выполняться следующее.

Отношение R между конфигурациями из $b(R)$ называется правилом идентификации, если:

1) R является отношением эквивалентности;

2) если cRc', c и c' имеют одни и те же внешние и внутренние показатели связей;

3) если cRc', то $(sc)R(sc')$ для любого другого $s \in S$;

4) если $c = c_1 s\, c_2$; $c = c'_1 s\, c'_2$ регулярны и $c_1 Rc'_1$, $c_2 Rc'_2$, то cRc'.

Множество всех ФО и их идентификацию обозначим следующим образом:

$$\Gamma = b(R)/R = \left\langle S, r, \sum, r \right\rangle / R. \qquad (11)$$

Класс эквивалентности I, содержащий данную конфигурацию (c), будем обозначать через $I(c)$.

На множестве Γ задаётся алгебраическая структура. В работе [5] доказаны следующие положения.

На множестве Γ могут быть однозначно заданы преобразования подобия и однозначно определены комбинации $I_1 s\, I_2$ для изображений I_1, I_2, если связи в s соответствуют их внешним связям.

Тогда:

1) $s(I_1 s\, I_2) = (sI_1)s\,(sI_2)$, если внешние связи реализуются посредством s ;

2) если $(I_1 s_1 I_2) s_2 I_3$ и $I_1 s'_1 (I_2 s'_2 I_3)$ – регулярные комбинации, то они определяют один и тот же ФО при условии, что $s_1 \mathbf{U} s_2 = s'_1 \mathbf{U} s'_2$.

Для данного $b(R)$ различные правила идентификации приведут к различным алгебрам ФО. Если R_1 и R_2 – два таких правила и R_1 точнее, чем R_2, в том смысле, что R_1-ФО всегда содержатся в R_2-ФО, но не всегда наоборот, то: $R_1 < R_2$. В частности, иногда важно, что правило может различать конфигурации лишь с одной образующей. Для примера рассмотрим моноатомный тип связи [5] и произвольную пару образующих S_1 и S_2. Обе конфигурации $\{S_1\}$ и $\{S_2\}$ регулярны. Будем говорить, что R разделяет образующие, если из $\{S_1\} \equiv \{S_2\} (\operatorname{mod} R)$ следует $S_1 \equiv S_2$.

При синтезе виртуальных частных сетей как сложных систем используются многие типы правил идентификации. Однако часто используются некоторые простые правила:

1. Тривиальное правило задаётся при помощи равенства между конфигурациями, а именно cRc', тогда и только тогда, когда $c = c'$: идентификация по равенству конфигурации. Конечно, в этом случае выполняется $\Gamma = b(R)$.

2. Правило R появляется тогда, когда все регулярные конфигурации имеют нулевое значение для входов и выходов. Полагаем cRc' тогда и только тогда, когда состав c равен составу c' (идентификация по составу).

3. Правило, когда две конфигурации идентифицируются, если они представляют одну и ту же функцию и имеют одни и те же внешние связи (идентификация по функции).

Часто встречается случай, когда изображение представляет некоторую функцию на опорном пространстве. Когда мы имеются две или большее число алгебр ФО, определённых на одном и том же $b(R)$, может оказаться важным выяснить, существуют ли простые отображения одной из них в другую.

Остановимся более подробно на задаче представления ФО для синтеза сложных систем из сложных модулей (моноатом) в качестве ОС.

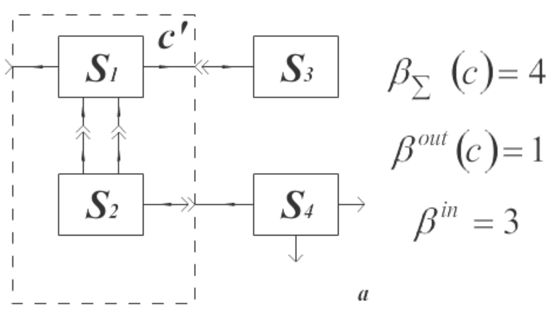
Рассмотрим модель ФО с моноатомным типом соединения. Тогда для любых двух образующих S_1 и S_2 соответствующие конфигурации $c_1 = \{S_1\}$ и $c_2 = \{S_2\}$ регулярны. Тогда существует ОС S, такая, что $S \equiv (c_1 s\, c_2)(\operatorname{mod} R)$. Если, кроме того, R разделяет ОС, то S определена однозначно:

$$S = S_1 s\, S_2. \qquad (12)$$

Таким способом пары ОС могут стягиваться в одну ОС, и эту процедуру можно повторять.

Рассмотрим конфигурацию $c \in I$, включающую в себя две ОС: S_1 и S_2. Если S_1 и S_2 соединены в конфигурацию посредством s и $S_1\, s\, S_2 = S$, то c является R-эквивалентом конфигурации c', полученной из c заменой конфигурации $S_1\, s\, S_2$ на S.

Для иллюстрации этой операции рассмотрим рис. 3, где подконфигурация c' конфигурации c обозначена внутри пунктирной линии на рисунке 3а и отдельно на рисунке 3б, она является R-эквивалентом $\{S\}$. Заменяя $S_1\, s\, S_2$ на $\{S\}$, получаем конфигурацию, показанную на рисунке 3в.



а

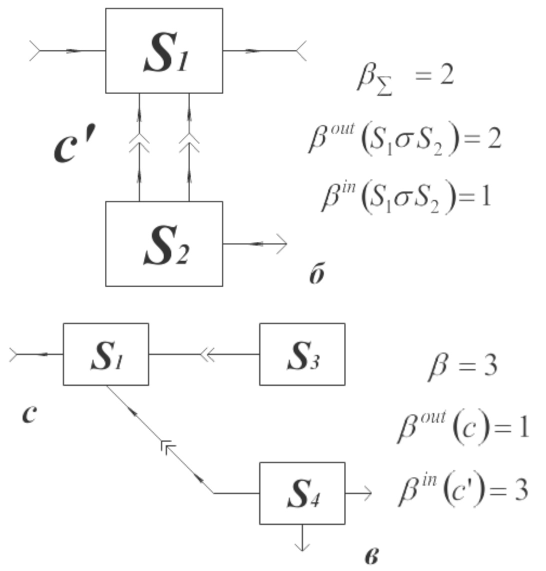


Рис. 3. Конфигурации образующих сети

Полученные выше теоретические результаты синтеза сложных систем и, в частности, виртуальных частных сетей не учитывают их поведения в реальных условиях. Следовательно, необходимо обеспечить реалистичность теории с тем, чтобы она могла оперировать реальными образами систем. Другими словами, следует рассмотреть процесс преобразования «чистых» образов в реальные с помощью некоторого механизма деформации *D*.

Деформации вносят более серьёзные изменения по сравнению с преобразованиями подобия. Этот механизм может включать случайные элементы, и в таком случае D должен определять используемые вероятностные меры. Конкретная деформация обозначается через *d*, *d*Î*D*, и можно использовать запись $I^D = dI$.

Для того чтобы включить эту часть в единый метод, необходимо ввести деформацию, связанную с преобразованиями подобия, т.е. определить, каким образом множество образующих *S* преобразуется деформациями *D*, какова комбинаторная структура деформированного изображения.

Сформулируем несколько общих принципов, которые могут оказаться полезными при построении модели деформации.

Во-первых, следует попытаться разложить D, которое может быть довольно сложным пространством, на простые факторы $D = D_1 \times D_2 \times \ldots$. Произведение может быть конечным, счётным или несчётным. Иногда такое разбиение задаётся непосредственно. Некоторую пользу можно извлечь также из того способа, при помощи которого алгебры изображений построены из элементарных объектов. Если рассматриваются изображения, конфигурации которых включают n образующих, и все они идентифицируемы, то:

$$I^D = dI = (d_1 s_1, d_2 s_2, \ldots, d_n s_n). \qquad (13)$$

Этот метод будет работать только в том случае, когда образующие однозначно определяются изображением. Вместо этого воспользуемся соответствующим разбиением в применении к каноническим конфигурациям, образующие которых определены в рассматриваемой алгебре изображений. После разделения D на достаточно простые факторы необходимо решить, какую вероятностную меру (ВМ) следует ввести на D. При этом существенным моментом является выбор такого способа факторизации деформаций, при котором отдельные факторы *d* оказываются независимыми друг от друга. Невозможно полностью задать ВМ, не располагая эмпирической информацией, и для того, чтобы получить оценки с удовлетворительной точностью, аксиоматическая модель должна быть в достаточной степени структурирована. Это критический момент для определения ВМ, и здесь требуется такое понимание механизма деформации, которое исключит неадекватное представление данных при последующем анализе. Если действительно удаётся провести разбиение таким образом, что факторы в вероятностном смысле независимы, то остаётся ещё решить задачу определения на них безусловных распределений.

Таким образом, виртуальная сеть (модель в нашем случае) строится из стандартных блоков-образующих, объединённых в конфигурации. Образующие сети определены в конкретной среде X-опорном пространстве. В этом пространстве задаются определённые преобразования X -> X, которые используются для построения соответствующих регулярных сетей, удовлетворяющих набору заданных ограничений (правил b(R)). Эти ограничения характеризуют типы регулярности образов и представляют их комбинаторную структуру.

Регулярные конфигурации являются в сущности абстрактными, т.е. формальными описаниями. Результат формального описания всей сети, соответствующий множеству регулярных конфигураций, представляет собой «изображение». Изображение сети соответствует формальному описанию в идеальных условиях: при правильной модели, отсутствии инструментальных ошибок и аппаратурных ограничений. Введение механизма деформаций обеспечивает возможность работы с реальными образующими, конфигурациями и изображениями.

Библиографический список

1. Гренандер, У. Лекции по теории образов. Т1. Синтез образов. – М.: Мир, 1979. – 383 с.
2. Гренандер, У. Лекции по теории образов. Т2. Анализ образов. – М.: Мир, 1981. – 448 с.
3. Гренандер, У. Лекции по теории образов. Т3. Регулярные структуры. – М.: Мир, 1983. – 432 с.
4. Крон, Г. Тензорный анализ сетей. – М.: Советское радио, 1978. – 720 с.
5. Александров, Б. А. Основы теории эвристических решений .– М.: Советское радио, 1975.

GENERALIZED PROBLEM OF VIRTUAL NET SYNTHESIS FOR A MACHINE-BUILDING ENTERPRISE

© 2011 A. N. Koptev[1], D. Yu. Dronov[2]

[1]Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)
[2]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics

We consider a formal method for the design of multi-service nets based on the «general image theory» method. That makes it possible to solve the problems of synthesizing a virtual net of an industrial complex.

Virtual nets, synthesis, image theory, identifier, tensor analysis.

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.

Дронов Дмитрий Юрьевич, аспирант Поволжского государственного университета телекоммуникаций 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.

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.