УДК 519.95/155.5

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖА И СПЕЦИАЛИСТОВ

© 2006 А. Н. Коптев, Э. И. Сурина

Самарский государственный аэрокосмический университет

Рассматривается представление деятельности экипажа воздушного судна в рамках введенного множества всех образующих действий и построение из них заданных конфигураций.

Для выработки управляющего воздействия членов экипажа и специалистов (ЧЭС) необходим целостный образ объекта или события [1]. Однако, как показывает опыт, информация, подаваемая ЧЭС, носит дискретный характер. Отношение дискретности и целостности (связности) требует разработки некоторого языка для их представления, который включает, прежде всего, набор образующих этого языка, характеризуемых определенными признаками, связями, которые в рамках точного формализма будут использоваться в качестве концептуальной основы для анализа и синтеза образов, действий человека, т. е. объектом нашего изучения будут образы действий ЧЭС. Для описания образов необходимо введение некоторых формализмов для представления последних и действий над ними как некоторыми элементами. В качестве таких элементов могут выступать абстрактные символы, множества, отношения и функции. Остановимся на четком определении образующих и их свойств, необходимых для построения конфигурации, связанных с распознаванием с усвоением понятий или со спецификацией действий применительно к решению определенного типа задач.

Элементы, используемые для построения конфигураций и изображений, определение которых в рамках формализованных представлений будут даны ниже, назовем образующими. Множество образующих будем обозначать через A, символом для отдельного первичного элемента будет служить a, $a \in A$.

Образующие представляют собой элементы – носители информации, и так как они имеют значение неких первичных высказываний, то они могут быть формализованными и представлены знаками.

Множество всех образующих A состоит из непересекающихся классов образующих A^a, $A^a \subset A$, где a – общий индекс, индекс класса образующих.

$$A = \bigcup_{a} A^a, \; A \text{ – непересекающиеся классы.} \qquad (1)$$

Интерпретация этого разбиения состоит в том, что образующие, сходные качественно, будут относиться к одному классу.

Образующие – это простейшие элементы объектов или событий, некоторые стандартные блоки. Они могут обладать определенными свойствами, и если они ими действительно обладают, то свойства эти могут быть двух типов.

Первый тип свойств – это признаки. Образующей ставится в соответствие признак $p = p(a)$, причем в качестве значений признака p могут выступать целые числа, действительные числа, векторы и так далее. Одной из составляющих признака служит индекс класса образующей a, однако он располагает и другими составляющими, представляющими более специфическую информацию.

Второй тип свойств охватывает связи. Определенной образующей a соответствует определенное число связи $r\,(a)$, которое выражается неотрицательным целым числом. Величина этого числа указывает максимальное число соединений, связывающих данную образующую с остальными, и представляет собой сумму входных связей $r_{in}(a)$ и выходных связей $r_{out}(a)$

$$r\,(a) = r_{in}(a) + r_{out}(a). \qquad (2)$$

Эти показатели характеризуют максимальное число соединений, входящих в образующую и выходящих из нее, соответственно.

Каждому подобному (потенциально возможному) соединению соответствует показатель связи, обозначаемый обычно символом b с соответствующим нижним индексом. Характер показателей связи b существенно изменяется в зависимости от каждого конкретного случая представления.

Множество связей всякой образующей a, соответствующим образом перенумерованное, образует структуру связей образующей. 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.

Отметим, что отдельные образующие могут входить в одну и ту же конфигурацию более одного раза. В таком случае берутся идентичные копии этой образующей, которые различаются при помощи идентифицирующих меток, вводимых в признак в качестве составляющих.

Для наглядного представления образующих будем пользоваться графическим формализмом, таким как на рисунке 1, для того, чтобы дать интуитивное представление об их свойствах. На этом рисунке входное число связей равно 2, соответствующие показатели связей – b_1 и b_2 и выходное число связей – 3, соответствующие показатели этих связей – b_3, b_4 и b_5, так что общее число возможных соединений равно 5.

Это графическое представление не следует рассматривать как образующую, окружную своими связями, – связи являются частью собственно образующей.

Как правило, при решении большинства прикладных задач будем иметь дело с некоторыми отображениями множества образующих A в себя, которые не будут существенно влиять на информацию, содержащуюся в образующих. Эти отображения представляют собой преобразования подобия и должны удовлетворять следующему определению.

Определение 1. Будем считать, что множество S отображений s: A ® A образует множество преобразований подобия, если:

– множество S является полугруппой с единицей относительно композиции преобразований;

– любое sÎS отображает A^a в себя при любом индексе класса образующих a;

– множество S не влияет на связи (но может влиять на показатели связей).

Отметим, что показатели связей преобразованной образующей sa могут отличаться от показателей связей исходной образующей a.

Для большей определенности считаем образующие неделимыми объектами, однако подобно тому, как атомы обладают внутренней структурой и могут расщепляться на элементарные частицы, образующие, в свою очередь, иногда допускают разбиение на более мелкие единицы. На любом уровне формального описания образов образующая будет рассматриваться как непроизводный элемент.

Определить образующую можно двумя способами. Простейший – задание образующей в абстрактном виде без всякого учета среды, в которой она действует. В этом случае образующая просто обозначается неким отвлеченным символом. Противоположный случай, который является основным, – определение образующих на некоторой среде – носителе информации. В этом случае образующая имеет конкретную интерпретацию.

В качестве одного из примеров множества абстрактных образующих, используемых в данной работе, можно привести

$$A = A^1 \mathbf{U} A^2,$$

где A^1 – конечный список вершин графа (представляющих либо объекты, либо события) и

$$A^2 = \{ a, \vec{a} \},$$

где a и $\vec{a}$ – конечный список ориентированных и неориентированных дуг графа.

В качестве более сложного примера может быть приведен естественный язык для описания ситуаций и сцен.

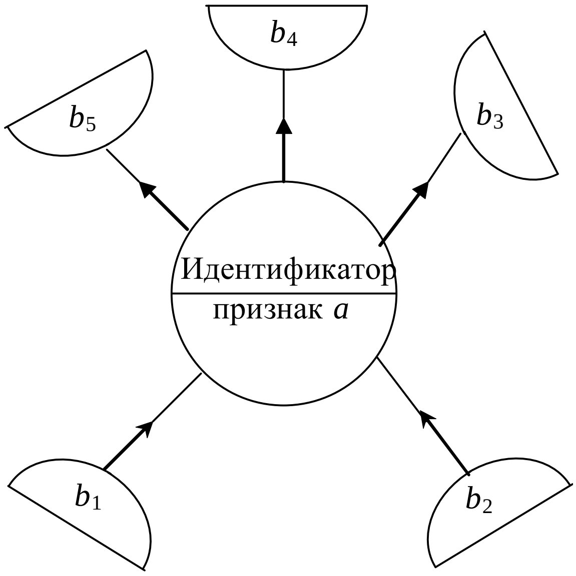

Рис. 1. Графический формализм образующей

Множество образующих в этом случае задается словарем, классами A^a служат классы слов, а признаками могут являться число, род, падеж и тому подобные категории с соответствующими диапазонами изменения [2].

Дадим определения конкретных образующих, наиболее часто встречающиеся при решении задач данной работы.

Определение 2. Если образующие являются элементами опорного пространства X, то они называются точечными образующими. Например, пусть $X = \boldsymbol{R}$ и образующая состоит из идентификатора и значения в $\boldsymbol{R}$; s-преобразования заключаются в изменениях масштаба x ® kx, $k > 0$.

Определение 3. Если образующие являются подмножествами опорного пространства X, то они называются образующими – подмножествами. Например, пусть a – упорядоченная пара (x_1, x_2) в некотором топологическом пространстве X, рассматриваемая как стрелка, проведенная из x_1 в x_2. Пусть S состоит из топологических отображений X на себя, и расширенное определение s имеет вид (x_1, x_2) ® $(s\,(x_1), s\,(x_2))$.

Очевидно, что точечные образующие являются частным случаем образующих-множеств, если точку в X отождествить с подмножеством, содержащим только эту точку.

Теперь перейдем к рассмотрению того типа образующих, который встречается чаще всего.

Определение 4. Пусть образующие состоят из отображений опорного пространства X в сопоставленное пространство Y. В этом случае мы говорим об образующих-соответствиях или образующих-функциях.

В качестве таких образующих могут быть рассмотрены универсальные операторы. В этом случае всякая образующая есть оператор с n (переменными) входами $x_1, x_2, \ldots, x_n$ и m (переменными) выходами $y_1, y_2, \ldots, y_m$. Область значения всякого x_i есть некоторое пространство X_i, область значений всякого y_j – некоторое пространство Y_j. В частности, существуют операторы назначения, не имеющие входов (однако обычно обладающие некоторыми признаками). Преобразования подобия воздействуют только на операторы назначения, оставляя все остальные образующие без изменения. В результате реализации этих преобразований признаки оператора назначения обычно изменяются, однако будем требовать, чтобы a изменялся, а области X и Y не увеличивались.

Представление образов на основе образующих – это совокупность правил и ограничений относительно того, как описывать целеустремленное поведение ЧЭС.

Задав образующие, необходимо ввести определенные правила, ограничивающие способы их соединения между собой. Эти правила приводят к типичным регулярностям образов и представляют собой комбинаторную структуру.

Комбинаторная теория образов предусматривает структурное объединение стандартных блоков – образующих – в конфигурации.

Конфигурация определяется составом и структурой. Две конфигурации считаются идентичными только в том случае, если и их составы, и их структуры совпадают.

Для того чтобы выделить класс регулярных или допустимых конфигураций, можно воспользоваться двумя способами.

Во-первых, это определение через ограничения, т. е. построение конфигураций, удовлетворяющих набору заданных ограничений, и, во-вторых, это порождающее определение - построение конфигураций с правилом порождения.

Примем в нашей работе следующие правила и ограничения. 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 $b_n(R)$, где n – число образующих (если оно определено). Множество $b(R)$ характеризует регулярность образов.

Для оценки сложности конфигураций введем следующее определение.

Определение 5. Будем говорить, что при заданном множестве образующих и двух системах R_1 и R_2 структурная сложность конфигураций, регулярных в смысле R_1, больше структурной сложности конфигураций, регулярных в смысле R_2, если $b(R_1) \supset b(R_2)$.

Для оценки количественной сложности конфигураций будем использовать термин «количественная сложность» конфигурации c, принадлежащей заданному множеству регулярных конфигураций $b(R)$, имея в виду просто число образующих, входящих в конфигурацию c.

Состав конечной конфигурации c будем определять как

$$\text{состав } (c) = \{a_1, a_2, \ldots, a_n\}, \qquad (3)$$

где правая часть представляет собой просто некоторое множество, абсолютно неструктурированное.

Структура конфигурации представляет собой множество s соединений, существующих между всеми или некоторыми связями образующих, входящих в ее состав. Если перенумеровать связи как b_{ij}, $i = 1,2, \ldots, n$, $j = 1,2, \ldots, r(c_i)$, то множество s можно задать списком вхождений вида $(b, b') = (i, j)$, (i', j'), соответствующих соединению связей b и b'. С другой стороны, множество s можно задать с помощью квадратной матрицы инцидентности порядка $\sum r\,(a_i)$, в которой единицы и нули указывают наличие или отсутствие соединения в определенных парах связей.

В данной работе будем рассматривать не все возможные множества соединений s, а лишь определенный класс, например векторную структуру, древовидную структуру и т. п. Множество всех допустимых множеств соединений s обозначим через Σ и будем называть его типом соединения конфигураций в рассматриваемом множестве регулярных конфигураций $b(R)$.

Введем формальное определение понятия типа соединения.

Определение 6. Тип соединения Σ представляет собой объединение множеств Σ_n, где всякое множество Σ_n есть множество графов, заданных на n вершинах.

Для $s_1 \in \Sigma_{n1}$ и $s_2 \in \Sigma_{n2}$ рассматриваем все графы в $\in \Sigma_{n1+n2}$, которые можно получить как объединение множеств s_1 и s_2 посредством добавления множества соединений s между двумя исходными графами.

Множество всех подобных множеств s для заданных s_1 и s_2 обозначим через $\Sigma\,(s_1, s_2)$, а символ s будем использовать в качестве родового, объединяющего два подобных графа. Всякий раз, когда выражение образуется повторным применением s-операций, будет подразумеваться, что все подвыражения принадлежат Σ.

В большинстве случаев из контекста будет ясно, что представляет собой $\Sigma\,(s_1, s_2)$, в особых же случаях вместо s будут использоваться иные, более информативные символы.

Если Σ предусматривает все вырожденные комбинации, включающие произвольную изолированную образующую, то этот тип соединений Σ называется одновершинным (свернутым).

Приведем в качестве примеров несколько важных типов соединений.

Σ – «свободное» означает, что все $s \in \Sigma$ – пустые. В этом случае никакие соединения не заданы и конфигурации не имеют структуры, они представляют собой просто множества образующих.

Если $r_{in}(a) \equiv r_{out}(a) \equiv 1$, то можно выбрать Σ – «линейный порядок». Это означает, что у всех образующих выходная связь образующей a_i соединена со входной связью образующей a_{i+1}, $i = 1, 2, \ldots, n-1$.

Если $r_{in}(a) = 1$ и $r_{out}(a)$ – произвольное, то Σ – «дерево». Это означает, что образующие должны быть объединены в деревья, причем стрелки исходят из выходных связей и входят во входные.

Σ – «частичный порядок» означает, что соединения образуют частичный порядок, если принимаются во внимание направления стрелок. Иногда мы будем сталкиваться с такими типами соединений, для которых $s \in \Sigma$ означает, что соединения, относящиеся к любому подмножеству конфигурации, также входят в Σ. В таких случаях будем говорить о монотонном типе соединений Σ.

Любой заданный тип соединений Σ можно всегда превратить в монотонный, использовав все подкомбинации исходной комбинации. В этом случае получаем монотонное расширение $M(\Sigma)$ заданного типа соединений Σ.

Если для конфигурации c заданы

$$\text{состав } (c) \text{ и структура } (c) = s, \tag{4}$$

то ее регулярность определяется взаимным соответствием соединенных связей. Последнее определяется отношением согласования или отношением связи n, зависящим от двух соответствующих связей и записываемым как bnb'.

Отношение связи является S-инвариантным, и поэтому, если bnb', то b_1nb_1', где b_1 и b_1' – преобразованные показатели связей, полученные в результате применения преобразования подобия s к соответствующим образующим.

Это отношение может принимать самую простую форму, например, являться просто равенством. В общем случае оно не должно быть симметричным, как, например, в случае, когда n – отношение включения, или транзитивным, как, например, в случае, когда n задается несколькими неравенствами с разными «направлениями».

Определение 7. Конфигурация c, имеющая структуру $s \in \Sigma$, является регулярной в том и только в том случае, если bnb' выполняется для любого соединения $(b, b') \in s$.

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

Регулярные конфигурации будут представляться графически с помощью схемы конфигурации, на которой образующие изображаются большими окружностями (обычно с идентификаторами и признаками), а связи – малыми полуокружностями (часто с показателями связи). Если две связи соединены, то это показывается маленькой окружностью, на которой отмечен диаметр.

Распространим понятия связей образующих и преобразований подобия, введенных на множестве образующих A, на множестве регулярных конфигураций $b(R)$. Связями конфигурации c называется, как и в случае образующих, число внешних связей; оно слагается из входных связей и выходных связей.

Область определения некоторого преобразования подобия s Î S распространяется на множество регулярных конфигураций $b(R)$ посредством задания для состава $(c) = \{a_1, a_2, \ldots, a_n\}$ следующих соотношений:

$$\text{состав } (sc) = \{sa_1, sa_2, \ldots, sa_n\}, \tag{5}$$

$$\text{структура } (sc) = \text{структуре } (c). \tag{6}$$

Утверждение (6) совместимо с утверждением (5), так как согласно определению 1 преобразования подобия не затрагивают структуру связей.

Поскольку каждое соединение включает две связи, справедливо

$$r\ (c)\ = \text{связность}\ (c) = \sum_i r\ (a_i) - 2\ \#\ (s),\quad (7)$$

а также аналогичные соотношения для входных и выходных связей.

Кроме матрицы инцидентности структуры конфигурации s порядка $\Sigma r(a_i)$ нам потребуется также матрица инцидентности для образующих [3]. Ее порядок равен n, и число элементов вида (i, i') равно числу выходных связей образующей a_i. Эту матрицу можно вычислить на основе матрицы структуры конфигурации s, но не наоборот.

Распространим на конфигурации понятие комбинаторной структуры. Рассмотрим 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 $c_1 s_{12} c_2$, причем

$$\text{состав}\ (c_1 s_{12} c_2) = \text{состав}\ (c_1) \cup \text{состав}\ (c_2),\ (8)$$

$$\text{структура}\ (c_1 s_{12} c_2) = \\ = \text{структура}\ (c_1) \cup \text{структура}\ (c_2) \cup s_{12}, \qquad (9)$$

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

$$\left.\begin{array}{l} \text{структура}\ (c_1 s_{12} c_2) \in \Sigma \\ bnb' \text{ выполняется для всех новых связей,} \\ \text{соединенных в соответствии с } s_{12}, \end{array}\right\} \qquad (10)$$

Вместо списка s_{12} можно воспользоваться прямоугольной матрицей инцидентности для представления соединений, предусмотренных s_{12}.

Если для двух регулярных конфигураций c_1 и c_2 справедливы условия

$$\left.\begin{array}{l} \text{состав}\ (c_1) \subseteq \text{состав}\ (c_2), \\ \text{структура}\ (c_1) \subseteq \text{структура}\ (c_2). \end{array}\right\} \qquad (11)$$

Напомним, что структура (c) есть множество, значит 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. Если $c_2 = c_1 s_{12} c'$, причем c_1, $c_2 \in b(R)$, то $(c_1) \subseteq (c_2)$ и, следовательно, композиция конфигураций является монотонной операцией относительно заданного частичного порядка. Эта операция всегда приводит к увеличению информации или, точнее, никогда не приводит к ее потере.

Множество регулярных конфигураций будем записывать в виде набора из четырех элементов

$$b(R) = (A, S, \Sigma, n) \qquad (12)$$

или, объединив Σ-структуру и отношение связи n в правило

$$R = (\Sigma, n), \qquad (13)$$

получаем набор из трех элементов

$$b(R) = (A, S, R). \qquad (14)$$

Если рассматриваются только регулярные конфигурации заданной мощности n, то для пространства конфигураций можно записать

$$b_n\ (R) \subset b\ (R). \qquad (15)$$

Иногда некоторые регулярные конфигурации встречаются в виде подконфигураций. В таком случае их удобно рассматривать в качестве неделимых элементов, т. е. образующих с заданными фиксированными внутренними связями. Будем называть такие конфигурации макрообразующими.

Приведем ряд часто встречающихся типов соединений.

Простейшим типом соединения является Σ – «свободное», при котором никакие соединения не устанавливаются, любая конфигурация регулярна и не имеет внутренней структуры, т. е. является просто множеством. Объекты такого вида будем называть свободными конфигурациями.

Поскольку свободные конфигурации – это просто множества, то для обозначения соединения s естественно воспользоваться знаком «$\cup$» (такое объединение, когда две копии образующей можно различать с помощью дополнительных меток в соответствующих контекстах).

Другим часто встречающимся типом является линейный тип. Линейный тип соединений Σ состоит из линейных упорядочений, и регулярная конфигурация, включающая n образующих, имеет вид, приведенный на рисунке 2.

Теперь введем в теорию образов наблюдаемость. Две различные конфигурации c_1 и c' из b (R) необязательно будут восприняты наблюдателем как различные. Последнее может зависеть или не зависеть от способа получения информации о конфигурации наблюдателем и от способа обработки этой информации. Формализуем это обстоятельство посредством правила идентификации R: записываем $c \equiv c'$ $(mod\ R)$ или cRc', если c и c' идентифицируются при помощи этого правила, указывающего, каким образом наблюдатель может различать конфигурации. Для того, чтобы некоторое отношение было правилом идентификации, должны выполняться следующие определения и правила.

Определение 8. Отношение R между конфигурациями из b (R) называется правилом идентификации, если:

– R является отношением эквивалентности,

– если cRc', то c и c' имеют одни и те же внешние и внутренние показатели связей,

– если cRc', то $(sc)R\,(sc')$ для любого $s \hat{I} S$,

– если $c = c_1 s c_2$ и $c' = c_1' s c_2'$ регулярны и c_1Rc_1', c_2Rc_2', то имеем cRc'.

Классы эквивалентности b (R) называются изображениями и в общем случае обозначаются через I, а множество всех изображений – через Γ:

$$\Gamma = b\ (R)/\ R = (A, S, \Sigma, n)/\ R. \tag{16}$$

Иногда будем называть элементы из Γ идеальными изображениями в противоположность деформированным изображениям, которые будут введены ниже. Класс эквивалентности I, содержащий данную конфигурацию c, будем обозначать $I(c)$.

На множестве Γ задается алгебраическая структура.

Для данного b (R) различные правила идентификации приведут к различным алгебрам изображений. Если R_1 и R_2 – два таких правила из R_1, точнее, чем R_2, в том смысле, что R_1–изображения всегда содержатся в R_2-изображениях, но не всегда наоборот, то это пишем, как $R_1 > R_2$. В частности, иногда важно, что правило может различать конфигурации лишь с одной образующей. Более точно рассмотрим монотип связи и произвольную пару образующих a_1 и a_2. Обе конфигурации $\{a_1\}$ и $\{a_2\}$ регулярны, и будем говорить, что R разделяет образующие, если из $\{a_1\} \equiv \{a_2\}$ $(mod\ R)$ следует, что $a_1 = a_2$.

Заметим, что поскольку все конфигурации в изображении обладают одними и теми же внешними связями и показателями связей, то имеет смысл говорить о них для всего изображения.

Множество Γ вместе с преобразованиями подобия и комбинациями посредством s называется алгеброй изображений, обозначается также через Γ и может быть представлено пятеркой

$$\Gamma = b\ (R), R\rangle = \langle A, S, \Sigma, n, R\rangle. \tag{17}$$

Вероятностная мера P на b (R) индуцирует вероятностную меру на Γ при помощи соотношения

$$P(E) = P\{c\ /\ c \in b\ (R),\ I(c) \in E\} \tag{18}$$

при $E \subset \Gamma$. Для упрощения обозначения используем тот же символ P для индуцированной меры.

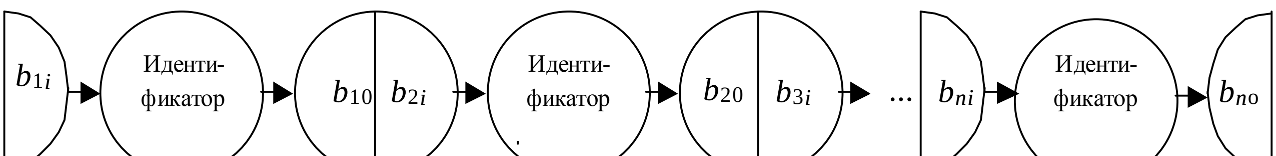

Рис. 2. Линейное соединение конфигураций

Рассмотрим типы правил идентификации и начнем с некоторых простых правил.

Тривиальное правило задается при помощи равенства между конфигурациями, а именно cRc' тогда и только тогда, когда $c = c'$. Конечно, в этом случае имеем $\Gamma = b\ (R)$.

Другое правило R появляется тогда, когда все регулярные конфигурации имеют нулевую связность, и мы полагаем cRc' тогда и только тогда, когда состав (c) равен составу c' (идентификация по составу).

Более интересное правило получается для образующих-соответствий. Это правило таково, что функция однозначно определена на подмножестве опорного пространства. Две конфигурации идентифицируются, если они представляют одну и ту же функцию и имеют одни и те же внешние связи (идентификация по функции). Часто будет встречаться случай, когда изображение представляет некоторую функцию на опорном пространстве.

Рассмотрим формализацию представлений в сложном пространстве, в котором действуют ЧЭС. Такие действия могут быть в случае пространств с размерностью больше чем 3, в частности, наиболее часто используемое четырехмерное пространство.

Рассмотрим в этом пространстве важный класс алгебр изображений – пространственно-временные образы.

В этом случае опорное пространство $X = R^3 \times R^1$, где R^1 – пространство времени. Эти образы играют особую роль среди многомерных образов благодаря тому, что время направлено. Это повлияет на выбор отношений связи. Здесь будут получены те пространственно-временные образы, которые описывают движения, а также рассмотрены поведенческие образы, которые могут быть представлены как движение в пространстве более общего вида, чем R^3.

Образующие, используемые при построении конфигураций движения, будут иметь следующие свойства. Как число входящих, так и число исходящих связей образующих не ограничено, и показатели всех внутренних связей конкретной образующей равны некоторому действительному силу n_{in}. Аналогично все показатели внешних связей равны некоторому действительному числу $n_{out} \geq n_{in}$. Роль индекса a образующей заключается в разделении движений на различные типы, и A будем называть репертуаром движений. Если два пространства образующих построены одинаково, за исключением того, что одно из них исходит из множества образующих A, а другое – из A', причем A Ì A', то будем говорить, что второе пространство обладает большей общностью. Второе пространство конфигураций будет иметь и более сложную структуру.

Преобразования подобия будут включать в себя сдвиги по времени t ® $t + h$. Воздействие на показатели связей образующих будет сводиться к тому, что они примут значения $t_{in} + h$, $t_{out} + h$. Иногда будут использоваться также некоторые пространственные преобразования, но они не повлияют на показатели связей. Как правило, классы образующих A^a должны быть S-инвариантными.

Когда элементарные движения комбинируются вместе, необходимо проследить, чтобы они выполнялись в правильном порядке. Это приводит нас к типу соединения Σ – «частичный порядок», и все стрелки в s должны иметь одно направление.

По той же причине будем считать, что отношение связей $b_{out} n b_{in}$ истинно тогда и только тогда, когда $t_{out} \leq t_{in}$; стрелка направлена от b_{out} к b_{in} и прежде чем перейти к следующему, необходимо закончить предыдущее. Отметим, что такое отношение связей S-инвариантно.

Тем самым определяется $R = \langle \Sigma, n \rangle$ и вместе с A и S задается множество регулярных конфигураций $b(R)$.

Чтобы получить алгебру изображений, мы должны выбрать правило идентификации R, и в данном случае располагаем большей свободой выбора. Рассмотрим 3 правила.

Если c и c' – две регулярные пространственно-временные конфигурации, то каждая из них определяет полное движение: объект в R^3 переводится из одного состояния в другое. Отметим, что $c \equiv c'\ (mod\ R_1)$, если c и c' имеют одни и те же внешние связи и индуцируют одно и то же полное движение среды. Это не означает, что два таких движения идентичны, а только то, что их полные результаты одинаковы.

С другой стороны, если c и c' имеют одинаковые внешние связи и показатели связей и представляют повсюду одно и то же движение, то будем говорить, что $c \equiv c' \ (mod\, R_2)$.

Наконец, если c и c', то записываем $c \equiv c' \ (mod\, R_3)$; R_3 – тривиальное правило идентификации по равенству конфигураций. Эти правила удовлетворяют определению (8) и задают три алгебры изображений $\Gamma_k(R) = b(R)/R_k$, $k = 1, 2, 3$. Очевидно, что $R_1 > R_2 > R_3$.

Для изучения более сложных и часто встречающихся пространственно-временных конфигураций удобно ввести макрообразующие.

Прежде чем рассмотреть некоторые конкретные реализации введенных выше правил, укажем, что установление способа, по которому пространственно-временные изображения при заданном начальном пространстве изображений переводятся в пространственные изображения, как правило, представляет важный вопрос.

При описании движения будем исходить из определенного репертуара движений, скомбинируем их и выявим реакцию среды. Это зависит как от свойств среды, так и от применяемых средств. Это могут быть просто руки оператора или сложные механические устройства.

Приняв в качестве образующих движения, будем строить пространственные конфигурации, причем Σ – «частичный порядок» и n совпадает с « $\leq$ ». Тогда регулярные конфигурации идентифицируются по модулю R_i, $i = 1, 2, 3$, что определяет алгебру изображений.

Очевидно, такие конфигурации характеризуются тем, что они являются комбинациями некоторых основных действий, соединяемых вместе в установленном порядке с соответствующими временными ограничениями. Конфигурации подобного типа встречаются и при анализе процессов управления.

Пространственно-временные образы поведения ЧЭС, порождаемые соответствующими образующими, могут быть рассмотрены с точки зрения синтеза образов действий. При этом соответствующее пространство не обязательно совпадает с R^3.

Чтобы охарактеризовать поведение ЧЭС, группы или организации, нужно исходить из множества доступных действий. Под поведением понимается способ выбора и комбинирования действий в некоторой среде. Поэтому образы поведения имеют такую же структуру, как и образы, представленные выше, но теперь образующими служат действия и A можно рассматривать в качестве пространства действий.

Комбинируя образующие действия, можно получить конфигурации поведения. Поведение в истинном понимании возможно лишь тогда, когда конфигурации отвечают изменениям в экономической среде, которые влияют на администрацию компании при выборе действий. Однако даже это по-настоящему не «объясняет» поведение, а служит лишь его формальным описанием.

В заключение рассмотрим вопрос, как получаются изображения из образующих, представленных булевыми образами.

Эти образы комбинируются посредством исчисления высказываний, исходя из некоторого множества A (простых) признаков. Сами признаки являются двоичными переменными, принимающими два возможных истинностных значения, скажем «истина» и «ложь». В данном разделе эти признаки служат образующими, а изображения являются правильно построенными булевыми изображениями.

Произвольная булева функция j, заданная переменными f, может быть выражена в конъюнктивной нормальной форме

$$j = \bigwedge_{b \in B} \Big(\bigvee_{a \in A} f^{e_{ab}} \Big). \tag{19}$$

Показатели степени принимают значения 1, 0, –1, причем полагают, что $f^1 = f$, $f^{-1} = \sim f$, f^0 не встречается.

Это укладывается в формализм образов, если A состоит из признаков $a = a(x)$, определенных на некотором опорном пространстве X. Группа S преобразований подобия на X индуцирует изображения s: A ® A; s – произвольный элемент S.

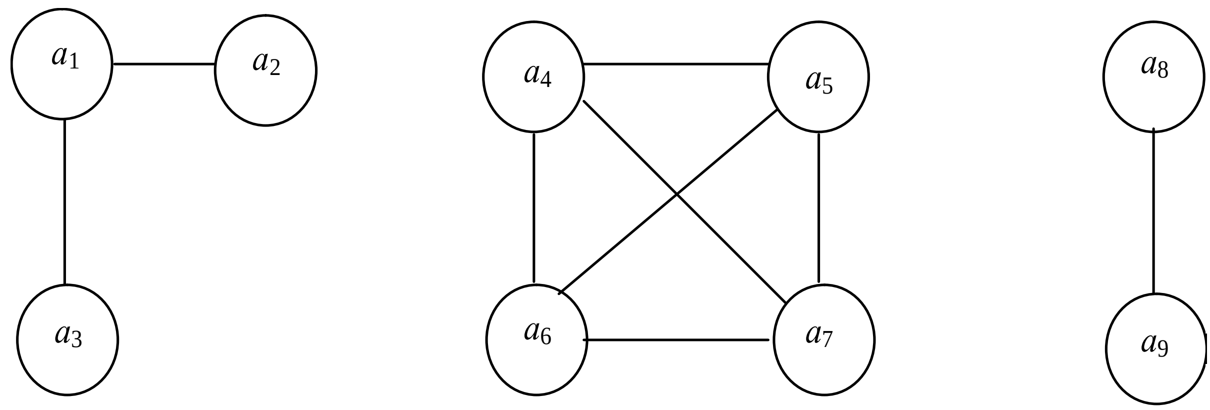

Рис. 3. Тип соединения булевых образов

Классы образующих A^a будут состоять из попарно сравниваемых признаков: если $a_1, a_2 \in A^a$, то один влечет другой так, что или $a_1 \Rightarrow a_2$, или $a_2 \Rightarrow a_1$.

Тип соединения Σ показан на рисунке 3.

Любой $s \in \Sigma$ будет состоять из одного или нескольких изолированных подграфов, каждый из которых имеет более p образующих и подграфов с полной графовой структурой. Связность любой a есть $(r - 1)$ двойных стрелок, все ее узлы совпадают с соответствующим индексом образующей a. Отношение согласования n будет выбрано как «не иметь следствием», чтобы гарантировать неизбыточность задания образующей. Пусть регулярная конфигурация $c \equiv b(R)$ записана в виде $\{a_{ij}$; $i = 1, 2, \ldots, m$; $j = 1, 2, \ldots, n_i \}$, где $n_i \leq p$, так, что c является комбинацией $c_i = \{a_{ij}, j = 1, 2, \ldots, n_i\}$, причем каждая c_i имеет тип соединения «полный».

Пусть даны две конфигурации c (как выше) и $c' = \{a'_{ij}\,; i = 1, 2, \ldots, m'\,; j = 1, 2, \ldots, n'_i\}$, $n_i \leq r$, они будут отождествляться cRc', если

$$\bigwedge_{i=1}^{m}\left(\bigvee_{j=1}^{n_i} a_{ij}(x)\right) = \bigwedge_{i=1}^{m'}\left(\bigvee_{j=1}^{n'_i} a'_{ij}(x)\right), \forall x \in X. \qquad (20)$$

Другими словами, конфигурации идентифицируются по их логическим функциям.

Выводы и рекомендации

Образующие, используемые в данной статье, в дальнейшем будут применяться для построения конфигурационных структур R, в которых эти образующие можно определить как заданные узлы или как отрезки, соединяющие пары узлов. Построенные из этих образующих конфигурации будут называться сетевыми конфигурациями.

При работе с сетевыми конфигурациями будет предполагаться, что у всех a $r\,(a) = \infty$, n – симметрическое и любое $s \in \Sigma_n$ предусматривает всевозможные попарные соединения реверсивными стрелками всех n образующих, входящих в конфигурацию. В этом случае тип соединения назовем Σ – «полный», а построенная структура будет структурой полного графа. Для описания реальных конфигураций, когда A состоит из описанных выше образующих, тип соединения Σ – «полный» и n – различие, то это означает, что bnb' в том и только в том случае, если $b \neq b'$. Сетевые конфигурации подобного типа являются (частично) описаниями объектов (ситуаций).

Роль системы правил R заключается в данном случае в том, чтобы предотвращать возникновение противоречий.

Список литературы

1. Зигель А., Вольф Дж. Модели группового поведения в системе «человек – машина». – М.: Мир, 1973.
2. Персонал. Словарь понятий и определений. – М.: «Экзамен», 2000.
3. Эпштейн В. Л. О приложении теории графов для описания анализа потоков информации в управляющих системах // Автоматика и телемеханика. - 1965. Т.26. – С. 1403 – 1409.