

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ МИРОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

И.Н. Глухих, А.Н. Коптев

1. Термины и определения объектно-ориентированного моделирования

Введение. Перспективным и интенсивно развивающимся направлением в области компьютерных наук в последнее десятилетие стало создание систем виртуальной реальности (VR-систем) [1]. Необходимым атрибутом VR-систем является интерфейс, позволяющий воспроизводить реалистичную картину моделируемого мира, создавая иллюзию погружения в него пользователя системы. Задачи разработки развитого интерфейса VR-системы относятся к числу наиболее трудоемких при создании таких систем. Другой, пожалуй, не менее важной проблемой является создание внутренней сущности VR-системы — модели того виртуального мира, с информационными образами которого взаимодействует пользователь.

Модель виртуального мира (VM) воспроизводит компоненты, образующие структуру и население мира, поведение и взаимодействие которых регламентированы законами этого мира. Жизненный цикл компонентов рассматривается как последовательная смена состояний, переходы между которыми обусловлены как течением времени виртуального мира, так и взаимодействиями между компонентами [2]. Все это делает модель похожей на тот мир, который нас окружает. Поскольку как поведение отдельных компонентов мира, так и их взаимодействие далеко не всегда поддается строгому математическому описанию и в большинстве случаев не является детерминированным, задачи моделирования виртуальных миров относятся к области интеллектуальных систем и решаются с привлечением экспертных знаний о компонентах мира.

Модель виртуального мира представляет самостоятельный интерес и вне VR-систем. Несмотря на впечатление, которое производит на пользователя погружение в виртуальную реальность и несомненные возможности такого погружения, для решения многих практических и научно-исследовательских задач в современных условиях может оказаться более рациональным использование моделей VM с

управлением и отображением информации средствами обычных персональных компьютеров. Образно говоря, при этом наблюдение за миром «изнутри» заменяется наблюдением за миром «со стороны». В качестве такого мира может выступать упрощенное отображение окружающей нас действительности, сложной системы или объекта управления или некоторый абстрактный, конструируемый исследователем мир, например, мир, в качестве компонентов которого выступают элементарные ситуации в системе управления сложным объектом [3].

Наблюдение «со стороны» характерно для реальных условий деятельности персонала в современных системах диспетчерского управления и, соответственно, более приемлемо для компьютерных систем тренировки персонала. Этот же способ наблюдения может оказаться достаточным для решения задач проектирования и исследования объектов в условиях моделируемого мира, рассмотренных в [4]. Если же модель ВМ является составляющим модулем – источником информации в структуре некоторой системы, например, источником информации о сложном объекте в системах ситуационного управления [3, 5], то интерфейс, воспроизводящий виртуальную реальность, становится ненужным.

Для разработки модели ВМ важным является представление знаний о моделируемом мире. При этом желательно, чтобы выбранные способы представления знаний для многообразных компонентов мира позволяли получить единообразные описания в модели мира, легко транслируемые на языки программирования. Другой желательный результат – возможность прогнозирования преобразований модели (состояний компонентов ВМ) и получения преобразований, отвечающих заданным критериям и ограничениям, должен обеспечить эффективное использование модели ВМ в прикладных системах.

С учетом этого целесообразна декомпозиция процесса представления знаний на два этапа. На первом этапе разрабатываются описательные модели ВМ, включающие описания компонентов и их состояний, а также описания законов и ограничений мира. Эти модели используются в качестве информационного источника для инженера-программиста, который разрабатывает исходные коды компонентов ВМ. Второй этап включает разработку моделей более высокого уровня абстракции – формальных представлений компонентов мира. Наличие таких моделей позволяет формализовать критерии и ограничения преобразований модели ВМ, алгоритмизировать преобразования и организовать взаимодействие компонентов ВМ согласно этим критериям и ограничениям.

Комплекс теоретических вопросов взаимосогласованного решения задач описания ВМ, формализации представлений компонентов ВМ и их преобразований составляет основу содержания этой статьи.

Объектно-ориентированное моделирование и понятие абстрактного объекта виртуального мира. Сущность объектно-ориентированного моделирования ВМ состоит в описании виртуального мира и его компонентов в виде различной сложности абстрактных объектов, которые выступают в качестве неделимых единиц модели ВМ. В соответствии с [2] под таким абстрактным объектом будем понимать абстракцию некоторой части реального или идеального мира, воспроизводящую в той или иной степени структуру и функции этой части мира. В общем случае предполагается, что абстрагируемая часть (компонент мира) обладает, во-первых, рядом признаков, позволяющих выделить ее в рассматриваемом мире, во-вторых, обладает некоторым поведением внутри своего мира, в результате которого выполняются преобразования элементов самой сущности и, возможно, других частей мира.

Положим, что есть некоторое пространство E атрибутов объекта, аналогичное, например, введенному в [6] пространству данных. При условии упорядочения значений атрибутов независимо от их типа, каждый атрибут объекта можно представить осью координат целого или вещественного типа или некоторым интервалом на оси координат. При этом объект в пространстве E представляется упорядоченным набором компонентов, каждый из которых соответствует одному из атрибутов объекта. Обозначим этот набор вектором X . Размерность вектора X совпадает с размерностью пространства, а координаты отсчитываются по его координатным осям. Поскольку имеется однозначное соответствие между компонентами вектора X и множеством атрибутов объекта, далее будем использовать также общий термин - «компонент объекта».

В описании объекта указывается тип атрибута (домен значений) без определения конкретного значения. Таким образом, абстрактный объект является интенционалом сущности рассматриваемого мира, которому соответствует множество конкретных представителей - экземпляров объекта, обладающих определенными значениями атрибутов объекта.

Для того, чтобы можно было рассматривать абстрактные объекты вне других сущностей моделируемого мира, сформулируем следующее допущение.

Допущение 1. Абстрактный объект может содержать в себе компоненты, фактически отсутствующие в той части мира, которая этим объектом воспроизводится.

Это допущение позволяет в описании объекта отразить все его входы и выходы, необходимые для решения заданной задачи, абстрагируясь при этом от других частей мира, с которыми он может быть связан.

В силу сделанного допущения множество компонентов любого объекта разделяется на два подмножества $X = X_1 \cup X_2$, где X_1 - фактические компоненты, X_2 - формальные компоненты. Последние можно рассматривать или как проекции компонентов других объектов в пространство данного объекта (формальные компоненты входа), или прообразы других компонентов в пространстве данного объекта (формальные компоненты выхода).

Для того, чтобы различать особенности поведения в том или ином состоянии абстрагируемой сущности мира, описание объекта должно отражать эти состояния и правила их распознавания. Подобно тому, как это делается в вещественном евклидовом пространстве, в пространстве объекта можно выделить области, границы которых задаются некоторыми условиями ограничений на значения компонентов вектора X . Каждое ограничение в общем виде запишется следующим образом:

$$g(X) \leq_{(=, \geq)} \Gamma,$$

где $g(X)$ — заданная некоторым образом функцией, области определения и значения которой есть возможно разные подпространства в E (области в этих подпространствах);

$(=, \geq)$ - знаки в скобках указывают на варианты знаков в выражении;

Γ - параметр-ограничение.

Все множество функций-ограничений обозначим $G(X)$, все множество параметров-ограничений - R , причем в общем случае необязательно взаимнооднозначное соответствие $G(X)$ и R , т.е. в определении границ двух разных областей пространства E может быть использована одна функция $g(X)$ с разными ограничениями: Γ_1 - для первой области, Γ_2 - для второй. Каждой v -й области пространства E поставим в соответствие v -е подмножество условий ограничений, записываемое в виде

$$G_v(X) \leq_{(=, \geq)} R_v,$$

где $G_v(X) = \{g_{v1}(X), g_{v2}(X), g_{v3}(X), \dots\}$;

$R_v = \{r_{v1}, r_{v2}, r_{v2} \dots\}$.

Области пространства E , ограниченные некоторыми подмножествами $G_v(X) \leq_{(=, \geq)} R_v$ будем называть областями состояний объекта. При этом можно выделить одну область - область жизненного цикла объекта, характерную тем, что существованию экземпляра объекта в процессе моделирования соответствует вектор X , всегда принадлежащий этой области.

Положение экземпляра объекта относительно v -й области состояний можно охарактеризовать предикатом

$$P(G_v(X) \leq_{(=, \geq)} R_v),$$

значение которого есть «истинно» при нахождении X в v -й области пространства E и «ложно» в противном случае.

Дадим следующие определения.

Определение 1. Изменение состояния объекта, связанное с входом в некоторую область состояния, или выходом из нее, сопровождающееся изменением значения предиката $P(G_v(X) \leq_{(=, \geq)} 0)$, называется событием в пространстве объекта.

Каждой области состояния в пространстве E можно поставить в соответствие пару событий - входа и выхода из данной области состояния. Далее будем выделять пару событий, которые присущи любому объекту:

- «инициализация экземпляра» - событие входа в область жизненного цикла экземпляра объекта, фактически означающее присвоение значений компонентам объекта и начало существования его экземпляра;

- «деструктуризация» - событие выхода за пределы состояния жизненного цикла объекта, т.е. окончание существования его экземпляра.

Все множество событий объекта обозначим S .

Определение 2. Траекторией жизненного цикла (ЖЦ) экземпляра объекта называется траектория вектора X в области жизненного цикла пространства объекта.

Определение 3. Экземпляр объекта есть конкретный представитель объекта, полученный присвоением значений его атрибутам при инициализации и обладающий собственной траекторией жизненного цикла в пространстве объекта (в частном случае траектория ЖЦ экземпляра может вырождаться в точку в пространстве E).

Траектории ЖЦ экземпляра на множестве S соответствует некоторая последовательность событий, возникающих в те или иные моменты времени t :

$$(S(t_1), S(t_2), \dots, S(t_j), \dots, S(t_i), \dots),$$

где для всех $i, j \in I$ (I – множество индексов отсчетов времени) если $i < j$, то $t_i \leq t_j$.

Определение 4. Планируемая последовательность динамических событий $(S(t_1), S(t_2), \dots, S(t_i), \dots)$ для экземпляра объекта с указанием времени возникновения событий называется планом имитации (экземпляра объекта).

План имитации необязательно включает в себя все события множества S , с другой стороны, допустимо соответствие $S(t_j) \leftrightarrow s \in S$ и $S(t_i) \leftrightarrow s \in S$.

Введенные элементы описания объекта позволяют рассматривать объект в качестве декларативной модели абстрагируемой сущности мира. Для описания и имитации поведения этой сущности используются процедурные элементы описания - действия [7].

Определение 5. Под действием понимается некоторый законченный элемент процесса функционирования объекта, в результате которого выполняются определенные преобразования компонентов вектора X в пространстве объекта (ограничиться только компонентами X самого объекта позволяет сформулированное выше допущение 1).

Далее при описании объектов будем исходить из следующего допущения.

Допущение 2. Процесс функционирования и множество областей состояний объекта (множество событий S) могут быть декомпозированы до такой степени, когда каждой области состояния соответствует одно из действий объекта, при этом событие входа в область состояния есть событие начала действия, событие выхода есть событие окончания выполнения действия.

Все множество действий объекта обозначим $D = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_v, \dots\}$, предполагая, что среди его элементов есть действие, содержание которого сводится просто к ожиданию некоторого события. Если компоненты не изменяют своего значения в любых действиях объекта, то есть остаются постоянными на протяжении всего жизненного цикла экземпляра объекта, то такие компоненты будем называть статическими компонентами объекта, в противном случае – динамическими компонентами.

С учетом введенных составляющих описания абстрактного объекта он может быть задан системой:

$$\langle X, G(X), R, S, D, f_s, f_d \rangle,$$

где $f_s : G(X) \times R \rightarrow S$ - отображение пар элементов из $G(X)$ и R в множество событий S (областей состояний);

$f_d : S \rightarrow D$ - отображение, которое сопоставляет действия событиям (областям состояний), т.е. определяет реакцию объекта на вход в ту или иную область состояния в пространстве объекта.

Классы объектов. Абстрагируясь от тех или иных свойств части мира, можно сформировать множество абстрактных объектов, воспроизводящих эту часть мира в том или ином аспекте. Будем говорить, что такое множество абстрактных объектов составляет класс объектов данной сущности мира.

Пусть имеется два объекта A и B , относящихся к одному классу. Определим отношение ρ на множестве объектов класса следующим образом.

Объекты A и B находятся в отношении $\rho(A, B)$, если выполняются условия:

- наследования состава и структуры пространства объекта:

$$X_A \subseteq X_B \quad (E_A \subseteq E_B), \quad S_A \subseteq S_B,$$

где X_A, X_B - множество компонентов объектов A и B соответственно;

E_A, E_B - пространства объектов A и B ;

S_A, S_B - множества событий (областей состояний) объектов A и B ;

- переопределения свойств объекта (необязательные):

$$\exists s \in S \quad (s = f_{sA}(G_A(X) \times R_A) \wedge s = f_{sB}(G_B(X) \times R_B) \rightarrow f_{sA} \neq f_{sB}), \quad (1)$$

$$\exists s \in S \quad (d_A = f_{dA}(s) \wedge d_B = f_{dB}(s) \rightarrow d_A \neq d_B), \quad (2)$$

где $S \subseteq S_A$ и $S \subseteq S_B$.

Условия переопределения свойств объекта трактуются следующим образом: (1) - найдется событие (область состояния), которое в пространствах объектов A и B задается различными условиями ограничений, т.е. распознавание состояния, типового для объектов, связанных отношением ρ , может осуществляется в объектах A и B при анализе разных наблюдаемых величин; (2) - найдется такое событие (область состояния), возникновение которого вызывает выполнение различных по содержанию действий в объектах A и B .

При $\rho(A, B)$ объект A называется прототипом объекта B (или объект B - подтип объекта A) [2].

Отношение ρ при условии единственности наследования отображается деревом класса объекта (транзитивные дуги удаляются)

$$G(W, V),$$

где W - множество вершин, каждой из которых однозначно соответствует один из объектов класса;

V - множество дуг.

В дереве G вершина w_1 является корнем дерева, дуга между двумя вершинами w_i и w_j существует, если объект, соответствующий вершине w_i , является прототипом объекта, соответствующего вершине w_j . Далее, чтобы упростить предложения, будем вместо громоздкого «объект, соответствующий вершине w » употреблять «объект w », подразумевая соответствие между вершинами дерева класса и множеством объектов.

Формально классы объектов определяется следующим образом: класс w_i есть множество $W^*(w_i)$ объектов таких, что в дереве $G(W, V)$ для каждой $w \in W^*(w_i) \subseteq W$ существует путь из w_i в w или $w = w_i$.

В силу условия наследования признаками класса w_i являются компоненты и события (области состояний) объекта w_i , который назовем классообразующим объектом. Все множество W - есть множество объектов класса w_1 - вершины дерева, и любой объект в дереве класса может выступать в качестве классообразующего объекта подкласса w_1 .

Введение и использование дерева класса объекта позволяет получить ряд важных результатов, а именно:

- навигация по дереву класса имитирует структурное и функциональное преобразование объекта. При этом критерием преобразования может служить множество событий, появлениe которых (распознавание) возможно в пространстве объекта;

- дерево класса представляет множество объектов, связанных общими признаками, но в то же время отличных по поведению. Условия переопределения (1) позволяют идентифицировать состояния, присущие объектам класса, при разном наборе компонентов (наблюдаемых величин), а условие (2) - выполнить в этих состояниях действия, различные по содержанию. Таким образом, дерево класса может представлять собой иерархическую структуру объектов, предназначенных для решения некоторой задачи в различных условиях (ситуациях);

- упорядочение элементов множества W (по правилу «если $v(w_i, w_j) \in V(G)$, то $j > i$ ») позволяет рассматривать все множество W в

качестве множества значений объекта w . Таким образом, объект как и обычный компонент может иметь множество значений и выступать в качестве компонента сложного объекта (см. ниже).

Ассоциированные объекты. Для отображения взаимодействий между экземплярами объектов вводится специальный ассоциированный объект (АО) [2].

Определение 6. Ассоциированный объект - абстрактный объект S , описываемый системой $\langle X_C, G_C(X), R_C, S_C, D_C, f_{sC}, f_{dC} \rangle$, который предназначен для контроля состояния связи между экземплярами объектов и выполнения определенных для данного состояния действий из множества действий объекта.

Множество компонентов X_C включает в себя формальные компоненты, являющиеся проекциями компонентов тех объектов, состояние связи между которыми контролирует АО. По этим значениям АО может контролировать, например, расстояние между экземплярами объектов в пространстве мира, тогда величина этого расстояния будет определять то или иное состояние связи. Возможные области состояний - S_C ; к элементам множества D_C относятся такие действия, как перемещение экземпляра из одного состояния в другое, управление компонентами экземпляров.

Процесс функционирования экземпляра ассоциированного объекта определяется взаимодействием контролируемых объектов. Иначе говоря, существование экземпляра ассоциированного объекта не имеет смысла без существования экземпляров контролируемых объектов и описание ассоциированного объекта должно ссылаться на эти объекты.

Сложные объекты. Введение ассоциированного объекта позволяет перейти к более сложным объектам, воспроизводящим как отдельные объекты мира, так и отношения между ними.

Определение 7. Сложный объект - абстрактный объект, в качестве компонентов которого, всех или некоторых, выступают другие объекты.

Объекты, которые являются компонентами сложного, есть объекты-компоненты.

Использование понятия «сложный объект» позволяет отразить существующую семантическую классификацию наследования в объектно-ориентированном подходе: наследование свойств - таксономия и наследование частей - партномия [8]. Первое базируется на определенном ранее отношении ρ , второе - на отношении «часть-целое» между объектами [9], которое далее будем обозначать - σ ,

т.е., если $\sigma(A, D)$, то A есть часть (объект-компонент) объекта D . Рассмотренное ранее дерево класса представляет собой иерархическую организацию множества объектов с наследованием свойств, в случае сложного объекта целесообразно сформулировать следующие две точки зрения на него.

Первая - «таксономическая»: объекты-компоненты выступают в качестве атрибутов сложного объекта и рассматриваются наравне с любыми другими компонентами как неделимые компоненты перечислимого типа. Соответственно все элементы описания сложного объекта ($G(X)$, R , D и т.д.) относятся к объектам-компонентам также, как и ранее в простом объекте к обычным компонентам - если в действии сложного объекта предусмотрено преобразование объекта-компонента, то это есть изменение его значения в домене, образованном деревом класса этого объекта. Области состояния сложного объекта могут задавать допустимые значения объектов-компонентов, например, возможные одновременные значения ассоциированных объектов и объектов, контролируемых ими.

Вторая точка зрения на сложный объект - «партомическая»: все объекты-компоненты рассматриваются как части целого - сложного объекта, эти части обладают собственными свойствами, поведением и в силу этих свойств и особенностей поведения могут определенным образом взаимодействовать между собой. В результате такого взаимодействия выполняются преобразования внутренних компонентов этих объектов. С этой точки зрения существенно важным является использование ассоциированных объектов, позволяющих структурировать элементы описания и функции сложного объекта.

Говоря о соединении в сложном объекте объектов-компонентов, выступающих в качестве составных частей, целесообразно учесть характер объекта как компонента, а именно - каждому значению объекта-компонента, выбираемому в домене класса, может соответствовать множество конкретных экземпляров этого объекта (в отличие от простых переменных, где присвоение значений приводит к появлению конкретной точки на шкале измерения этой переменной). Это учитывается в следующем допущении.

Допущение 3. Если имеется сложный объект A , множество объектов-компонентов которого $X = \{A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_j, \dots\}$, то любой экземпляр a сложного объекта A может содержать более одного экземпляра объектов-компонентов, т.е.

$$a \supseteq \{ a_{11}, a_{12}, a_{13}, \dots, a_{j1}, a_{j2}, a_{j3}, \dots \}.$$

План имитации экземпляра сложного объекта образуется планами имитации объектов-компонентов и включает также те события, которые есть события взаимодействия между объектами-компонентами, и которые фиксируются в множестве событий ассоциированных объектов.

Определение 8. Объектно-ориентированная модель (ООМ) виртуального мира есть абстрактный сложный объект, состав и функциональные возможности компонентов (объектов-компонентов и ассоциированных объектов) которого позволяют использовать его для имитации процессов взаимодействия между различными частями моделируемого мира, абстрагируемыми этими компонентами, на основе воспроизведения «структуры», «населения» и «законов» мира.

Под структурой мира здесь понимается совокупность статических объектов-компонентов сложного объекта (ООМ), образующих ту неизменяемую часть, в которой осуществляется перемещение динамических объектов-компонентов. Последние выступают в качестве населения мира ООМ. Под пространством мира $\subseteq E$ будем понимать ту часть пространств объектов-компонентов, в которой они взаимодействуют между собой.

Взаимодействие между объектами регламентируется правилами, ограничениями, технологическими предписаниями, которые составляют свод «законов» мира. Нарушение законов ведет к различной реакции со стороны мира, вплоть до разрушения взаимодействующих объектов. В ООМ эти правила, ограничения и т.п. образуют совокупность ограничений областей состояния связи и фиксируются в описаниях ассоциированных объектов; эти же объекты выполняют роль «исполнения законов», поскольку описание ассоциированных объектов предполагает описание действий, выполняемых над контролируемыми объектами в различных областях состояния связи между ними.

Как и для простых объектов на введенном отношении ρ основано образование классов ООМ. При этом наследование и переопределение в сложных объектах приобретает дополнительный смысл: условия (1-2) определяют возможность наследования классов объектов-компонентов с переопределением их значений, допустимых в области жизненного цикла экземпляра ООМ. Иначе говоря, в том или ином мире, воспроизводимом в ООМ, допустимо существование некоторого подмножества объектов класса, выступающих в качестве объектов-компонентов модели.

Как и для других абстрактных объектов, можно говорить о сложных ООМ с моделями-компонентами и ассоциированными объектами связи между моделями.

Сформулированные определения и допущения объектно-ориентированного моделирования составляют концептуальную основу описания ВМ с помощью абстрактных объектов. Для систематизации анализа и описания моделируемого мира, структурирования знаний используются отношения ρ и σ , которые позволяют реализовать множество вариантов виртуальных миров из исходного множества объектов.

В качестве форм описания могут быть использованы фрейм-подобные формы, разработанные для описания компонентов виртуальных миров в системах имитации процессов управления воздушным движением (УВД) [10]. Здесь виртуальными мирами являются зоны УВД разных типов, структура которых образована статическими объектами, такими, как пункты маршрута, воздушные трассы, зоны ограничения полетов и т.п. Динамические объекты, такие как воздушные суда и грозовые очаги, выступают в качестве населения ВМ. Законами мира являются технологические правила и ограничения, действующие в той или иной зоне УВД.

Важный вывод, который можно сделать исходя из введенных определений и допущений, состоит в следующем.

Для решения задач формализации представлений компонентов ВМ можно использовать некоторый обобщенный абстрактный объект, функционирование которого есть последовательность событий в жизненном цикле объекта; преобразование - переход из одного состояния в другое, обусловленный некоторым событием; логика функционирования отображается отношениями между событиями в пространстве обобщенного объекта.

С учетом этого вывода далее вводится система основных понятий теории представлений объектов в модели ВМ, в которой центральное место занимают события и отношения между ними.

2. Формализация представлений объектов

В соответствии с Определением 3 каждый экземпляр объекта обладает траекторией жизненного цикла в пространстве объекта. Эти траектории задаются при инициализации экземпляров объектов в модели ВМ явным образом или путем установления некоторых ограничений и критериев цели жизненного цикла экземпляра. Важным как при инициализации, так и непосредственно в процессе имитации является обеспечение взаимодействия экземпляров в соответствии с некоторыми требованиями. Такими требованиями могут быть: воспроизведение некоторого множества событий (ситуаций) в процессе имитации; организация взаимодействия экземпляров для целенаправленного преобразования их состояний; преобразования модели во избежание некоторых событий (ситуаций) и т.п. Задачи обеспечения взаимодействий экземпляров объектов в соответствии с подобными требованиями относятся к задачам синтеза и преобразования моделей ВМ. Представление знаний для решения таких задач составляет второй после описательного моделирования этап представления знаний о виртуальных мирах и может основываться на подходе, в основу которого положено предположение о возможности задания любого объекта модели ВМ в виде пары <экземпляр-пример; множество преобразований>. Этот способ определения объекта является одним из ключевых моментов тензорной методологии исследования систем [11-13] и позволяет при наличии некоторого конкретного экземпляра-примера получить другие экземпляры объекта с необходимыми свойствами путем формальных преобразований этого примера, поддающихся строгой алгоритмизации и реализуемых программно.

Возможность задания объекта экземпляром-примером и множеством формальных преобразований обеспечивается формализацией представлений объекта в рамках некоторой теории с собственным концептуальным базисом и дедуктивными средствами вывода. В этом разделе на основе тензорной методологии исследования систем [11-13] и комбинаторной топологии [14] разрабатываются исходные понятия такой теории представлений объектов.

Событийное представление объектов. Назначение теории представлений объектов ВМ состоит в решении следующих основных задач:

– представление многообразия объектов ВМ в виде единообразных конструкций ограниченного набора концептуальных средств теории;

– исследование исходных представлений объектов и вывод представлений с заданными свойствами с помощью дедуктивных средств теории;

– с помощью интерпретаций теории получение экземпляров объектов, соответствующих представлениям с заданными свойствами.

Эти задачи решаются в рамках определений и допущений объектно-ориентированного моделирования ВМ, сформулированных в разд. 1.

Центральным является понятие события в пространстве объекта, которое ограничивает нахождение объекта в той или иной области состояния и, соответственно, в том или ином действии. Эти области состояний могут пересекаться и включаться одна в другую, т.е. одновременно объект может выполнять несколько действий.

В теории представлений событие рассматривается как пара $\langle S_{\text{вх}}, S_{\text{вых}} \rangle$, где $S_{\text{вх}}$ - событие входа, $S_{\text{вых}}$ - событие выхода из области состояний. Пару событий $S_0 = \langle S_{\text{вх}} = \text{«инициализация»}, S_{\text{вых}} = \text{«деструктуризация»} \rangle$, ограничивающих жизненный цикл экземпляра объекта, обозначим S_{01} и S_{02} соответственно. Эти события образуют барицентрическую систему координат, в которой происходят все остальные события жизненного цикла экземпляра объекта. Будем говорить, что события S_{01} и S_{02} порождают базис, опорный для всех остальных событий, происходящих между S_{01} и S_{02} . Обозначим его как p_0 -базис.

Координаты любой точки S_k в опорном базисе задаются вектором $(\lambda_{k1}, \lambda_{k2})^T$, причем

$$\sum_j \lambda_{kj} = 1, \lambda_{kj} \in [0;1], \quad (3)$$

и все множество таких точек образует одномерный симплекс [14]. Координаты вершин S_{01}, S_{02} определяются из свойств вершин одномерного симплекса - $(1, 0)^T$ и $(0, 1)^T$ соответственно.

Для задания координат любого события, представленного в опорном базисе парой $\langle S_{\text{вх}}, S_{\text{вых}} \rangle$, введем мультивектор координат события вида

$$S = \left(\left(\begin{array}{c} \lambda_{11} \\ \lambda_{12} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \lambda_{21} \\ \lambda_{22} \end{array} \right) \right). \quad (4)$$

Согласно [11] мультивектор S можно рассматривать как два вектора, выступающих всегда в паре как единое целое. Поэтому, не-

смотря на форму представления, формулы преобразований S при преобразованиях системы координат, которые будут введены далее, есть формулы преобразования вектора, а не матрицы.

Чтобы не вводить дополнительные индексы будем различать по аналогии с плавающими и фиксированными индексами Г.Крона [11] обозначения p_i и (p_i) для всех $i = 0, 1, 2, 3, \dots$:

- $p_i = 0, 1, 2, \dots, n_i$ - индекс принимает все значения из заданного интервала от 0 до n_i ;

- $(p_i) \in [0: n_i]$ - индекс принимает одно из значений (любое) интервала;

- $(p_i = 0)$ или (0) - индекс имеет конкретное значение (здесь - значение «0»).

Множеству $\{S_{p_0}\}$ событий в p_0 -базисе соответствует множество мультивекторов $\{S_{p_0}\}$, причем для события S_0 , порождающего p_0 -базис:

$$S_0 = E = \left(\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \right). \quad (5)$$

Элементы множества событий $\{S_{p_0}\}$ могут интерпретироваться как события перехода к новому базису, т.е. события преобразования опорного p_0 -базиса. Новый базис, полученный в результате преобразования p_0 -базиса некоторым событием $S_{(p_0)}$, будем называть базисом, порожденным этим событием, или - собственным базисом этого события. Очевидно, что это есть базис барицентрической системы координат, образованной симплексом с вершинами $S_{(p_0)1}$ и $S_{(p_0)2}$. Матрица координат B собственного базиса события $S_{(p_0)}$ в опорном p_0 -базисе

$$B = \begin{pmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} \end{pmatrix} \quad (6)$$

может служить для определения координат любой точки опорного базиса в базисе, порожденном событием $S_{(p_0)}$ [12].

Введем следующие обозначения:

– $S^{\alpha\beta} (p_0) = S_{(p_0)}$ – контравариантный мультивектор (p_0) -го события в опорном базисе. Под (p_0) -м событием понимается некоторое конкретное событие $S_{(p_0)} \in \{S_{p_0}\}$, возникающее в опорном p_0 -базисе; индексы α и β имеют разный физический смысл, однако в рассматриваемом случае $\alpha = 1, 2$ и $\beta = 1, 2$, в результате чего мультивектор события представим в виде (4);

– $S_{\alpha\beta} (p_0)$ – ковариантный мультивектор опорного базиса (p_0) -го события;

– $C_{(p_0)(p_1=0)}^{(p_0)} \equiv C_{(p_0)(\chi_0)}^{(p_0)} \equiv V_t$ – тензор преобразования опорного базиса (p_0) -го события в собственный базис этого же события.

Отметим, что индексы (p_0) выполняют роль штрихов при α и β [11], однако функции их несколько шире – они указывают также на конкретный путь к опорному базису при последовательности преобразований, что будет видно в дальнейшем. При S индексы α и β опускаются для упрощения записи.

С учетом введенных обозначений можно записать правило преобразования собственного базиса события

$$S_{\alpha\beta} (p_0)(p_1=0) = C_{(p_0)(p_1=0)}^{(p_0)} S_{\alpha\beta} (p_0),$$

где $S_{\alpha\beta} (p_0)(p_1=0) \equiv S_{\alpha'\beta'} (p_0)$ – мультивектор координат собственного базиса (p_0) -го события в опорном базисе, физический смысл которого – координаты точек опорного базиса, соответствующие вершинам собственного базиса (p_0) -го события, и правило преобразования мультивектора события при переходе в собственный базис:

$$S_{\alpha\beta} (p_0)(p_1=0) = C_{(p_0)}^{(p_0)(p_1=0)} S^{\alpha\beta} (p_0), \quad (7)$$

где $S^{\alpha\beta} (p_0)(p_1=0) \equiv S^{\alpha'\beta'} (p_0)$.

При этом в силу определения мультивектора [11] мы подразумеваем, что преобразование S в каждом выражении применяется два раза, т.е. фактически (7) означает

$$C_{(p_0)}^{(p_0)(p_1=0)} S^{\alpha(1)} (p_0) \text{ и } C_{(p_0)}^{(p_0)(p_1=0)} S^{\alpha(2)} (p_0).$$

Если принять, что представление события в собственном базисе всегда неизменно в виде (5), то $S^{\alpha\beta}_{(p_0) \chi_{p_1=0}} = \delta^{\alpha\beta}$, где $\delta^{\alpha\beta}$ - символ Кронекера. С учетом этого из (7) следует возможность выражения S через мультивектор события:

$$C_{(p_0) \chi_{p_1=0}}^{(p_0)} = (S^{\alpha(1)}_{(p_0)} S^{\alpha(2)}_{(p_0)}). \quad (8)$$

Для определения в дальнейшем ситуации на множестве событий будет использоваться понятие проекции события. Под проекцией понимается вектор события в собственном базисе другого события, не являющегося опорным для данного, который определяется следующим образом:

$$S^{\alpha\beta}_{(p_0) \chi_{(r_0) \chi_{r_1=0}}} = C_{(r_0)}^{(r_0) \chi_{r_1=0}} S^{\alpha\beta}_{(p_0)}, \quad (9)$$

где $(r_0), (p_0) \in p_0, (r_0) \neq (p_0), (p_0) \neq 0$.

При нахождении проекции обязательным условием является наличие общего опорного базиса для (p_0) -го события и (r_0) -го события (в (9) это p_0 -базис).

Обобщение введенных выражений выполняется при замене конкретного индекса (p_0) на множество индексов p_0 . В соответствии с этим можно записать обобщенные формулы для всего множества событий в опорном базисе жизненного цикла экземпляра объекта:

$$S_{\alpha\beta \ p_0 \ (p_1=0)} = C_{p_0(p_1=0)}^{p_0} S_{\alpha\beta \ p_0}, \quad (10)$$

$$S^{\alpha\beta \ p_0(p_1=0)} = C_{p_0}^{p_0(p_1=0)} S^{\alpha\beta \ p_0}.$$

Все множество $\{S_{p_0}\}$ событий в опорном p_0 -базисе порождает множество новых базисов, каждый из которых является собственным базисом для соответствующего (p_0) -го события. Для базиса, порожденного (p_0) -м событием, введем обозначение: $(p_0)p_1$ -базис. Множество событий, для которых этот базис является опорным есть множество $\{S_{(p_0)p_1}\}$, а конкретное событие, происходящее в этом базисе, - $S_{(p_0) \chi_{p_1}}$. Обобщение преобразований для событий этого базиса запишется аналогично (7):

$$S^{\alpha\beta \ p_0 p_1(p_2=0)} = C_{p_0 p_1}^{p_0 p_1(p_2=0)} S^{\alpha\beta \ p_0 p_1}.$$

В общем случае последовательные преобразования дают $(p_0)(p_1)...p_n$ -базис, все множество индексов базисов обозначим P , и

индексы эти будем называть Р-индексами, все полученное множество преобразований:

$$C_P = \{ C_{P_0(P_1=0)}^{P_0}, C_{P_0P_1(P_2=0)}^{P_0P_1}, \dots, C_{P_0P_1P_2 \dots P_{n-1}(P_n=0)}^{P_0P_1P_2 \dots P_{n-1}} \}.$$

Все множество преобразований совместно с представлением исходного базиса образует систему – базовый геометрический объект:

$$\langle \delta_{\alpha\beta}, C_P \rangle,$$

который в силу (8) также может быть выражен в терминах событий

$$\langle \delta^{\alpha\beta}, S_P \rangle = \langle \delta^{\alpha\beta}, \{ S^{\alpha\beta}_{P_0}, S^{\alpha\beta}_{P_0P_1}, \dots, S^{\alpha\beta}_{P_0P_1 \dots P_{n-1}} \} \rangle,$$

где $S_P \leftrightarrow C_P$

Для графического представления базового геометрического объекта используется диаграмма событий (рис. 1), которая строится следующим образом.

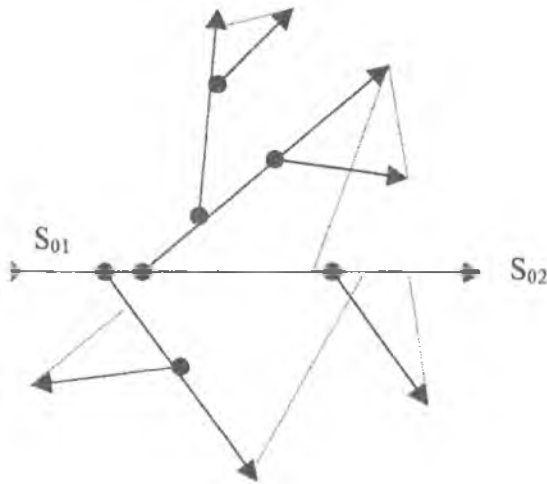


Рис. 1. Пример диаграммы событий

В диаграмме событий (ДС) каждому собственному базису того или иного события соответствует ребро диаграммы. Ребро $V(S_{(0)})$ отображает P_0 -базис и является центральным. Множество событий $\{S_{P_0}\}/S_{(0)}$ образует множество ребер, инцидентных центральному.

Начало и окончание ребра суть координаты мультивектора соответствующего события в опорном базисе, при этом начало ребра лежит на опорном ребре (точка $S_{\text{вх}}$), а окончание проецируется на это опорное ребро (пунктирная линия) в точку $S_{\text{вых}}$.

Направление ребра в ДС произвольно, вверх или вниз (влево или вправо) от опорного ребра. Используя ДС можно графически представлять информацию о событиях в объекте, а при введении дополнительных обозначений отображать и причинно-следственные зависимости между ними.

Преобразования базового геометрического объекта. На основе определения границы в комбинаторной топологии [14] введем термин «граница события». Под границей события будем понимать следующую векторную величину:

$$\partial S^{\alpha(p)} = S^{\alpha(2)}(p) - S^{\alpha(1)}(p),$$

где в силу (3) $\partial S^1 = -\partial S^2$, под индексом (p) понимается любая последовательность вида $(p_0)(p_1)\dots(p_i)$.

Пусть определены все компоненты базового геометрического объекта. Будем говорить, что геометрический объект задан в P-системе координат.

Множество операций преобразования компонентов геометрического объекта при переходе в новую систему координат, которую назовем Q-системой, составляют следующие операции:

- сдвига события в опорном базисе;
- сжатия события в опорном базисе;
- растяжения события.

Отличительными признаками операций сдвига и растяжения (сжатия) следующие: при сдвиге $\partial S^{\alpha}(q) = \partial S^{\alpha}(p)$, при сжатии $|\partial S^{\alpha}|(q) < |\partial S^{\alpha}|(p)$, при растяжении $|\partial S^{\alpha}|(q) > |\partial S^{\alpha}|(p)$, где $|\dots|$ - операция взятия модуля из всех элементов вектора, $\partial S^{\alpha}(q)$ – граница события в Q-системе координат.

В рамках используемой методологии указанные преобразования формализуются введением преобразования опорного базиса при переходе из P-системы в Q-систему координат. Обозначим $T_{(q_0)}^{(p_0)}$ - тензор преобразования опорного p_0 -базиса события при переходе из P- в Q-систему координат. Аналоги введенных понятий в новой системе координат получаются следующим образом:

$$S^{\alpha\beta}(q_0) = T_{(p_0)}^{(q_0)} S^{\alpha\beta}(p_0),$$

где координаты мультивектора $S^{\alpha\beta}(q_0)$ в опорном базисе в Q-системе есть результат сдвига или сжатия (растяжения) $S^{\alpha\beta}(p_0)$;

$$\begin{aligned} S_{\alpha\beta}(q_0) &= T_{(q_0)}^{(p_0)} S_{\alpha\beta}(p_0); \\ C_{(q_0)}^{(q_0)(q_1=0)} &= T_{(q_0)}^{(p_0)} C_{(p_0)}^{(p_0)(p_1=0)} T_{(p_0)(p_1=0)}^{(q_0)(q_1=0)} = T_{(q_0)}^{(p_0)} C_{(p_0)}^{(p_0)(p_1=0)} \delta_{\alpha\beta} = \\ &= T_{(q_0)}^{(p_0)} C_{(p_0)}^{(p_0)(p_1=0)}. \end{aligned}$$

Справедливость последнего выражения следует из постулируемого положения о том, что представление любого события в собственном базисе всегда неизменно и соответствует (5).

Как и ранее выражения для PQ-преобразований можно обобщить:

$$S^{\alpha\beta}(p_0)(p_1)\dots(q_i)\dots = T_{\dots(p_i)\dots}^{\dots(q_i)\dots} S^{\alpha\beta}(p_0)(p_1)\dots(p_i)\dots$$

- при преобразовании некоторого конкретного события и

$$S^{\alpha\beta}(q_0 q_1 \dots q_i \dots q_{n-1}) = T_{p_0 p_1 \dots p_i \dots p_{n-1}}^{q_0 q_1 \dots q_i \dots q_{n-1}} S^{\alpha\beta}(p_0 p_1 \dots p_i \dots p_{n-1})$$

- при преобразовании всего множества событий базового геометрического объекта, где часть элементов из множества преобразований могут быть тождественными преобразованиями и предполагается, что для всех $i = 0, 1, 2, 3$ выполняется $(p_i) = (q_i)$.

Преобразование всего базового геометрического объекта при переходе из P-системы координат в некоторую конкретную (Q)-систему запишем следующим образом:

$$\langle \delta_{\alpha\beta}, C_{(Q)} \rangle = T_{(Q)}^P \langle \delta_{\alpha\beta}, C_P \rangle,$$

где $T_{(Q)}^P = T_{q_0 q_1 \dots q_i \dots q_{n-1}}^{p_0 p_1 \dots p_i \dots p_{n-1}}$ - множество преобразований при переходе от P-системы координат к (Q)-системе. Последовательность таких преобразований дает мультипликативную группу

$$T_{(Q)} = \langle \{ T_P^P, T_{(Q_0)}^P, T_{(Q_1)}^{(Q_0)}, \dots, T_{(Q_j)}^{(Q_{j-1})}, \dots \}, (\cdot) \rangle,$$

где T_P^P - единичный элемент группы -- тождественное преобразование;

(\cdot) - операция умножения.

Введенные понятия, такие как базовый геометрический объект, выраженный в терминах преобразований или в терминах событий, а также PQ-преобразования и группа таких преобразований составляют основу формальных представлений объектов модели ВМ. В соответствии с изложенной ранее идеей задания объекта экземпляром-примером и множеством преобразований объект M_O представляется как пара:

$$M_O = \langle M_P, T_Q \rangle, \quad (11)$$

где M_P – экземпляр-пример, который представляется через базовый геометрический объект $M_P = \langle \delta^{\alpha\beta}, S_P \rangle$ ($M_P = \langle \delta_{\alpha\beta}, C_P \rangle$);

$T_Q = \{T_{(Q)}\}$ – множество всех PQ-преобразований, некоторое подмножество которого, примененное к M_P , позволяет получить другой экземпляр объекта.

Сформированная система исходных понятий теории представлений показывает возможность получения любого экземпляра объекта путем PQ-преобразований примера или какого-то другого экземпляра. При этом желаемые свойства получаемого экземпляра могут быть сформулированы в виде тех требований, которые указаны во введении и которые связаны с воспроизведением событий и, соответственно, состояний в пространстве объекта. Значение этой возможности обусловлено, во-первых, тем, что в объектно-ориентированном моделировании все компоненты мира, начиная от неделимых единиц и заканчивая целым миром представляются в виде объектов разной степени сложности, каждый из которых может быть задан в виде (11). Во-вторых, упорядочение объектов в дереве класса по мощности множества событий (состояний) позволяет связать преобразования $\langle \delta^{\alpha\beta}, S_P \rangle$ с навигацией по дереву класса, а это, в свою очередь может быть связано со структурными преобразованиями объектов, их функциональными возможностями или их образами в информационных моделях мира.

Однако рассмотренные формы представления объекта (11) и экземпляра не являются достаточными, т.к. в таком представлении не воспроизводятся отношения между событиями. Соответственно получение экземпляров с заданными свойствами путем PQ-преобразований возможно только без учета зависимостей между событиями. В следующем разделе работы рассматриваются вопросы расширения модели представления объекта для возможности отображения отношений между событиями.

3. Представление ситуаций

В обычном случае событие, образующее опорный базис, и событие, происходящее в этом базисе, связаны отношением порядка или отношением «причина-следствие». Первое устанавливает необходимые условия возникновения события

$$S_{(p_0)} \leftarrow S_{(0)}$$

и трактуется так: «событие $S_{(p_0)}$ может возникнуть в опорном базисе, образованном событием $S_{(0)}$, но не вне его».

Второе отношение запишем следующим образом:

$$S_{(p_0)} \Leftarrow S_{(0)},$$

то есть «событие $S_{(p_0)}$ обязательно возникает в опорном базисе, но не вне его».

Аналогичным образом можно говорить о событиях в любом $(p_0)(p_1)\dots p_i$ -базисе.

Этими же отношениями могут быть связаны и события, происходящие в разных базисах. На рис.2 изображен пример диаграммы событий объекта, на котором одним из этих отношений связаны события S и S_1 , причем указано (штрих-пунктирная линия), что S может произойти в том случае, если его проекция помещается в интервал $[A; B]$ на ребре события S_1 . Событие S относится к классу зависимых событий.

Определение 9. Если координаты мультивектора события S в опорном базисе не зависят от всех других событий из S_p кроме события, образующего этот опорный базис, то такое событие является независимым, в противном случае – событие является зависимым.

Среди зависимых событий можно выделить события с зависимым входом, зависимым выходом, события с зависимым входом и выходом, которые будем называть просто зависимыми событиями.

В общем виде зависимость между событиями можно записать следующим образом:

$$S \leftarrow (\Leftarrow) \bigvee_i S_{i1} \wedge S_{i2} \wedge S_{i3}, \quad (12)$$

где возможное условие $S \leftarrow (\Leftarrow) \neg S_{ij}$ заменяется на

$$S \leftarrow (\Leftarrow) \inf S_{ij} \vee \sup S_{ij};$$

$\inf S_{ij}$ – нижнее дополнение события S_{ij} – событие, вход которого есть точка $(1,0)^T$ в опорном базисе, а выход равен входу S_{ij} ;

$\sup S_{ij}$ — верхнее дополнение события S_{ij} — событие, вход которого равен выходу S_{ij} , а выход есть точка $(0,1)^T$ (см. рис.2).

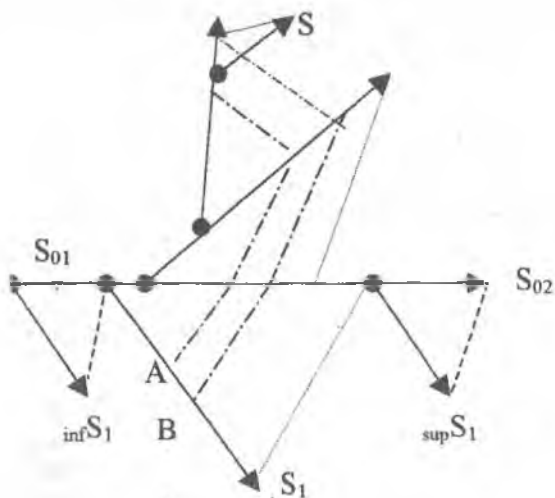


Рис.2. Пример диаграммы событий с зависимым событием S и событием-признаком ситуации S_1

Выражение (12) не позволяет указать более точно условие возникновения зависимого события S , подобно тому, как это сделано, на рис.2. Конкретизировать эти условия можно в терминах теории представлений следующим образом.

Пусть координаты зависимого события S в опорном базисе определяются прообразом этого события в некотором ином базисе, который назовем точкой события $t(S)$, представляемой парой $t(S) = \langle t^+(S), t^-(S) \rangle$. Здесь $t^+(S)$, $t^-(S)$ — точки входа и выхода события S соответственно. Геометрически точка события совпадает с проекцией события в рассматриваемый базис. Дадим следующее определение.

Определение 10. Ситуация есть совокупность событий, образующих условия возникновения зависимого события S и порождающих ситуационный базис, содержащий точку зависимого события S .

События, которые порождают ситуационный базис, будем называть событиями-признаками ситуации.

Для зависимого события кроме представления в опорном базисе имеет смысл еще одно его представление – в ситуационном базисе, вершины которого есть вершины симплекса

$$S = z_1 S_{\text{вх}1} + z_2 S_{\text{вх}2} + \dots + z_m S_{\text{вх}m} + z_{m+1} S_{\text{вых}}, \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^{m+1} z_i = 1, z_i \in [0:1].$$

Для любого события S можно определить его проекцию в любой из собственных базисов событий-признаков в соответствии с обобщением выражения проекции (см. вторую часть работы):

$$S \alpha \beta_{\{(p_j) (p_i)\}(r_j) \dots (r_i=0)} = C_{(r_j)}^{(r_j) \dots (r_i=0)} C_{(p_j) \dots (p_i=0)}^{(p_j)} S \alpha \beta_{(p_j) \dots (p_i)},$$

где есть общий опорный p_j - базис, $(p_j) \neq (r_i)$ и $(p_j), (r_j) \in p_j$.

Зная эти проекции в базисах признаков ситуаций, можно перейти к ситуационному базису следующим образом.

Введем a_i – весовой коэффициент значимости события-признака ситуации при возникновении зависимого события в данном ситуационном базисе, причем

$$\sum_{i=1}^m a_i = 1, a_i \in [0:1].$$

Разложение мультивектора зависимого события по признакам ситуации, точнее по точкам события в базисах этих событий-признаков:

$$S_{\text{вх}} = a_1 t^+(S)_1 + a_2 t^+(S)_2 + \dots + a_m t^+(S)_m,$$

$$S_{\text{вых}} = a_1 t^-(S)_1 + a_2 t^-(S)_2 + \dots + a_m t^-(S)_m.$$

Обозначим $S = (S_{\text{вх}}, S_{\text{вых}})^T$, $t(S) = (t^+(S), t^-(S))^T$, $a_i = (a_{i\text{вх}}, a_{i\text{вых}})^T$ и перепишем выражение в виде:

$$S = a_1 t(S)_1 + a_2 t(S)_2 + \dots + a_m t(S)_m.$$

С другой стороны, известно представление точки события в базисах событий-признаков ситуации:

$$t(S)_1 = \lambda_{11} S_{1\text{вх}} + \lambda_{12} S_{1\text{вых}}$$

$$t(S)_2 = \lambda_{21} S_{2\text{вх}} + \lambda_{22} S_{2\text{вых}}$$

$$\dots \dots \dots$$

$$t(S)_m = \lambda_{m1} S_{m\text{вх}} + \lambda_{m2} S_{m\text{вых}}$$

На основе формального объединения выходов событий-признаков получаем следующее выражение для определения проекции события в ситуационном базисе:

$$\begin{aligned} S &= a_1 \lambda_{11} S_{1\text{вх}} + a_2 \lambda_{21} S_{2\text{вх}} + \dots + a_m \lambda_{m1} S_{m\text{вх}} + (a_1 \lambda_{12} S_{1\text{вых}} + \\ &+ a_2 \lambda_{22} S_{2\text{вых}} + \dots + a_m \lambda_{m2} S_{m\text{вых}}) = a_1 \lambda_{11} S_{1\text{вх}} + a_2 \lambda_{21} S_{2\text{вх}} + \dots + \\ &+ a_m \lambda_{m1} S_{m\text{вх}} + (a_1 \lambda_{12} S_{1\text{вых}} + a_2 \lambda_{22} S_{2\text{вых}} + \dots + a_m \lambda_{m2} S_{m\text{вых}}) = \\ &= z_1 S_{\text{вх}1} + z_2 S_{\text{вх}2} + \dots + z_m S_{\text{вх}m} + z_{m+1} S_{\text{вых}} = z_1 S_1 + z_2 S_2 + \dots + \\ &+ z_m S_m + z_{m+1} S_{m+1}. \end{aligned}$$

Таким образом, в ситуационном базисе событию соответствует мультивектор $S^{\gamma\beta}$, в котором $\gamma = 1, 2, \dots, m+1$.

Обозначим z_{m+1} как z_0 . Так как z_0 содержит в себе информацию о всех элементах из a_1, a_2, \dots, a_m и всех элементах из $\lambda_{12}, \lambda_{22}, \dots, \lambda_{m2}$, то возможно выражение точек $t^+(S)$ входа и выхода $t^-(S)$ события через z_0 :

$$t^+(S) = z_{01}, \quad t^-(S) = z_{02}$$

или

$$t(S) = z_0,$$

где $z_0 = (z_{01}, z_{02})^T$.

Для событий с зависимым входом или зависимым выходом имеет смысл говорить только о точке входа $t^+(S)$ или только о точке выхода $t^-(S)$ соответственно. Для расширения возможностей модели вместо точки события вводится область события в ситуационном базисе $T(S) = \langle T^+(S), T^-(S) \rangle$, где $T^+(S)$ - область входа; $T^-(S)$ - область выхода, которые задаются указанием границ областей относительно z_0 :

$$T^+(S) \in (\mathbb{R}) [z_{01\min}; z_{01\max}], \quad T^-(S) \in (\mathbb{R}) [z_{02\min}; z_{02\max}]. \quad (14)$$

Введенное множество событий позволяет записать аналог выражения (12):

$$t(S) \in T_1(S) \cup T_2(S) \cup T_3(S) \cup \dots \cup T_j(S) \cup \dots$$

На рис.3 показан 2-мерный симплекс ситуации, в котором область события затемнена. Точки $\text{пр}S_1$ и $\text{пр}S_2$ - проекции события S (ограничиваемая только входом зависимого события) в базисы событий-признаков S_1 и S_2 . Проекция события в ситуационном базисе - это точка на линии, соединяющей $\text{пр}S_1$ и $\text{пр}S_2$ с координатами на ней (a_1, a_2) . Здесь $a_1 \approx a_2$ и событие не попадает в область события, т.е. не выполняются условия его возникновения. Видно, что при других значениях a_1 и a_2 эти условия могут быть выполнены.

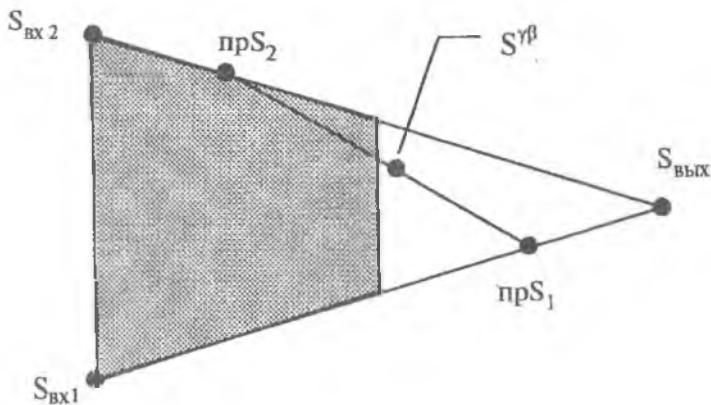


Рис.3. Зависимое событие в ситуационном базисе

В этом примере как и ранее предполагалось, что любая $S_{вхi}$ в (13) есть $S_{вх}$ соответствующего события-признака, а область события задана в виде (14). В практических задачах условия возникновения зависимого S могут быть заданы и в таком виде:

S возникает, если $d(прS_1; прS_2) \leq d_{min}$,

где $d(прS_1; прS_2)$ — расстояние между $прS_1$ и $прS_2$, выраженное в конкретных единицах измерения, d_{min} — заданное значение этого расстояния.

Использование предложенного способа перехода к ситуационному базису может быть полезным и в этом случае, если под $S_{вхi}$ в (13) будут пониматься не сами события-признаки, а их проекции в некоторый общий базис (например, исходный опорный), в единицах которого измеряется расстояние d .

Заключение.

Понятия ситуации и ситуационного базиса базируются на средствах формализации событий и являются составной частью событийного представления обобщенного объекта $ВМ$, которая позволяет дополнить его представлением зависимых событий в ситуационных базисах. Значение этих зависимостей в представлении объекта $М_0$ обусловлено тем, что они существенно влияют на ожидаемый результат при PQ -преобразованиях. Действительно, сжатие или сдвиг любого события-признака могут привести к неожиданным измене-

ниям координат зависимых событий, если не учитывать их взаимосвязей. С другой стороны, управляя событиями-признаками, можно добиться таких преобразований, которые исключают из множества событий экземпляра объекта события, нежелательные или опасные. Это позволяет применить средства теории представлений при разрешении конфликтных ситуаций в виртуальном мире. Важным здесь является разработка аксиом и дедуктивных средств теории для возможности непротиворечивого вывода экземпляров объектов с заданными свойствами.

С учетом введенных дополнений экземпляр-пример объекта представляется системой:

$$M_P = \langle \delta^{\alpha\beta}, S_P, \Leftarrow F, \Leftarrow F \rangle,$$

где $\Leftarrow F, \Leftarrow F$ — отображение отношения «причина-следствие» и отношения порядка между зависимыми событиями и событиями-признаками ситуаций соответственно;

$$\Leftarrow F: S_P \times T(S) \rightarrow \Leftarrow S_P;$$

$$\Leftarrow F: S_P \times T(S) \rightarrow \Leftarrow S_P;$$

$T(S)$ — множество заданных областей состояний в ситуационных базах;

$\Leftarrow S_P, \Leftarrow S_P$ — подмножества зависимых событий в S_P .

Отметим, что рассматриваемые представления рассчитаны на использование в условиях определенности, т.е. все элементы экземпляра-примера должны быть известны и точно заданы. Однако в моделях ВМ это может быть невозможно. Поэтому одним из следующих шагов развития теории является разработка способов и средств задания и обработки неопределенности в представлениях объектов.

Введенные термины и определения объектно-ориентированного моделирования и основные положения теории представлений объектов ВМ составляют базовую систему понятий возможного подхода к моделированию виртуальных миров в прикладных интеллектуальных системах. Такие модели могут использоваться, например, в качестве модели сложного объекта управления в ситуационных системах [5], в системах научных исследований и проектирования при исследовании моделей проектируемых объектов имитацией погружения их в среду функционирования [4], в интеллектуальных тренажерах оперативно-диспетчерского персонала в качестве моделей системы «объект управления-среда-субъект управления».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвинцева Л.В. Виртуальная реальность – новый шаг в технологии человеко-машинного взаимодействия // Известия РАН. Теория и системы управления, 1995, № 5. - с. 103 - 110.
2. Шлеер С., Меллор С. Объектно-ориентированный анализ: моделирование мира в состояниях. - Киев: Диалектика, 1993.
3. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика. - М.: Наука, 1986.
4. Захаров В.Н., Литвинцева Л.В., Ульянов С.В. Виртуальная среда для проектирования системы управления роботом сервисного обслуживания // Известия РАН. Теория и системы управления, 1996, №3. - с. 152-149.
5. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Новый виток развития // Известия РАН. Теория и системы управления, 1995, №5. - с. 152-149.
6. Кузина И.В., Петров А.Е. О тензорных методах построения языка базы данных// Банки информации для принятия решений. - М.: Знание, 1976. - с.59-67.
7. Фути К., Судзуки М. Языки программирования и схемотехника СБИС. – М.: Мир, 1988.
8. Прицкер А. Введение в имитационное моделирование и язык СЛАМ 2. - М.: Мир, 1987.
9. Диалоговые системы и представление знаний/Кокорева Л.В., Перевозчикова О.Л., Ющенко К. Л. – Киев: Наук. думка, 1992.
10. Глухих И.Н., Князевский Д.А. Моделирование технологических процессов УВД. – Ульяновск: УВАУ ГА, 1998.
11. Крон Г. Тензорный анализ сетей. - М.: Советское радио, 1978.
12. Петров А.Е. Тензорная методология в теории систем. - М.: Радио и связь, 1985.
13. Копгев А.Н., Глустенко С.Ф. Система понятий геометрического моделирования объектов электротехнического оборудования //Управление организационно-техническими системами: моделирование взаимодействий, принятие решений. -Самара: СГАУ, 1997. - с.197-208.
14. Понтрягин Л.С. Основы комбинаторной топологии. - М.: Наука, 1976.