

# АССОЦИАТИВНЫЙ ПОИСК В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СИТУАЦИЙ

Кучуганов В.Н.<sup>1</sup>

(Федеральное государственное бюджетное учреждение  
высшего образования  
«Ижевский государственный технический университет  
имени М.Т.Калашиникова»  
г. Ижевск, Россия)

*Реальные системы поиска и поддержки принятия управленческих решений, как правило, работают в условиях неопределенности. Описания решаемых ситуаций в таких случаях не дают полных сведений. В статье предлагается модель (механизм) ассоциативных рассуждений при поиске в предметной онтологии информации, дополняющей описание анализируемой ситуации. В отличие от обычно применяемого при этом подходе, основанном на прецедентном выводе, где прецедент представляется как точка в многомерном пространстве признаков, ситуации хранятся в виде атрибутивных графов отношений между действиями и их участниками. В терминологическом разделе онтологии они описываются с помощью дескриптивной логики с расширением на графы. Ассоциация формируется путем поиска в онтологии таких абстрактных понятий и конкретных объектов, которые близки по значениям известных свойств анализируемого объекта заданной ситуации. Ассоциативный рассуждатель содержит этап формирования ассоциативно связанных множеств понятий и этап поиска в них фактов, доопределяющих анализируемую ситуацию. В качестве примера ассоциативного дополнения рассмотрена ситуация, описывающая обгон автомобиля. Это может быть полезным, в частности, при решении практических задач на знание правил дорожного движения.*

Ключевые слова: ситуация, неопределенность, онтология действий, ассоциация, атрибутивный граф отношений, поиск дополняющих фактов.

---

<sup>1</sup> Валерий Никонорович Кучуганов, д.т.н., профессор  
(v.kuchuganov@mail.ru)

## 1. Введение

Как известно, ситуационное исчисление – это рассуждения в многомерном пространстве состояний управляющих параметров. В каждой задаче, как правило, существуют зависимости – связи между переменными, принимающими значения вдоль соответствующих осей этого пространства. Каждое из разрешенных (допустимых) действий изменяет значения одной или нескольких переменных пространства задачи. Требуется найти такую последовательность действий, чтобы из точки А переместиться в точку В пространства состояний. Если имеется база прецедентов, ее можно использовать для ускорения поиска зависимостей и эмпирических формул. Однако неполнота сведений о решаемой ситуации, что на практике бывает достаточно часто, приводит к неопределенности. В этих случаях применяют вероятностные рассуждения или привлекают специальный аппарат рассуждений в условиях неопределенности – немонотонные логики, логики косвенного описания, логики умолчания [13]. Интеллектуальные агенты «почти никогда не имеют доступа ко всем необходимым сведениям о своей среде... и должны действовать в условиях неопределенности» [13, стр. 622].

Проблему поиска дополнительной информации обычно решают путем моделирования рассуждений на основе аналогий и прецедентов. Например, в работе [3], аналогию рассматривают как сходство каких-либо свойств предметов, явлений, процессов, а рассуждения по аналогии (Analogous Reasoning, Analogy-Based Reasoning) как метод, позволяющий обнаружить подобие между заданными объектами. Благодаря переносу фактов и знаний, справедливых для одного объекта, на другой, менее изученный объект можно определить способ решения задач либо предсказать новые факты и знания.

Онтологический подход к построению сложных систем, благодаря формальному представлению предметной области, широко используется в принятии решений при реорганизации и построении аналогичных систем, для накопления и обмена информацией, для обучения и т.п. Так, в настоящее время широко распространены системы управления бизнес-процессами, основанные на концепции семантического BPM – Semantic Business

Process Management (SBPM), где для представления семантики предметной области применяются онтологии, правда, пока, в основном, как справочные.

В работе [4] описывается информационная система, основанная на понятийном моделировании предметной области. Предложенная понятийная модель содержит структуру понятия и описания содержания понятий, где структура понятия представляет собой множество понятий, на которых заданы четыре отображения абстрагирования: обобщение, типизация, ассоциация и агрегация. Описание содержания понятий осуществляется с помощью таблиц базы данных. Характерной особенностью такой понятийной модели является описание ассоциации как обычного понятия. Показано, что благодаря семантической инвариантности понятий удастся улучшить характеристики информационной системы. Проблемой, на наш взгляд, является автоматизация процесса создания ассоциаций.

СВР-системы (Case-Based Reasoning), рассуждающие на основе онтологии прецедентов, представляют прецедент как вектор в многомерном пространстве признаков. В предметных онтологиях систем, основанных на прецедентном выводе, концепт прецедента описывается в виде иерархии концептов онтологии, а каждый прецедент из базы прецедентов – в виде иерархии составляющих его экземпляров (под)концептов, связанных отношениями языка описания онтологий OWL. Для извлечения прецедентов из базы прецедентов применяют метод ближайшего соседа, метод, основанный на деревьях решений, методы с использованием нейросетевых моделей и др.

Так, в работе [1] способ интеграции онтологии и рассуждений на основе прецедентов используется применительно к задаче поддержки специалистов-консультантов IT-подразделений компаний. Онтология содержит понятия и отношения предметной области. Кроме того, в ней предусмотрен базовый класс Precedent, определяющий подробную структуру описания проблемных ситуаций. В структуре прецедента имеется 3 слота ключевых слов, посредством которых прецедент связывается с понятиями онтологии. Конкретные прецеденты вводятся как экземпляры класса Precedent. Близость прецедентов друг к другу оценивается как степень семантической близости связанных с

этими прецедентами концептов – ключевых слов, вычисляется как расстояние в многомерном пространстве атрибутов. Прецедент описан большим количеством атрибутов. Для ускорения поиска выполнена классификация прецедентов. Поиск идет по концептам – ключевым словам (3 таких слота). Недостаток: поиск по ключевым словам наиболее быстрый, но адекватность такого описания реальным ситуациям невысока.

В работе [12] описывается метод моделирования рассуждений на основе прецедентов в задаче автоматического анализа новостных текстов. Мера сходства прецедентов определяется как размер наибольшей общей подпоследовательности последовательностей сценариев двух прецедентов. Сценарии текстов считаются совпадающими, если они имеют один и тот же тип, а также совпадают объект или субъект сценариев.

К недостаткам подхода, основанного на CBR, относят [17] необходимость большой базы данных прецедентов, что снижает производительность системы. С другой стороны, возникают проблемы с определением критериев идентификации и сравнения случаев, поскольку прецедент представляется как точка в многомерном пространстве признаков.

При планировании на базе рассуждений по прецедентам (Case-Based Planning, CBP) опираются на такие же способы для представления, поиска и адаптации прецедентов. Для адаптации чаще всего применяют эвристические методы, которые используют эвристические продукционные правила, определяющие изменения плана в зависимости от контекста.

Потребность в онтологии «хорошо структурированных» (детализированных) прецедентов возникает в связи с необходимостью дальнейшего повышения степени конкретизации ситуаций и эффективности систем поддержки принятия решений (СППР). Соответственно, требуются более «тонкие», выявляющие сходство и отличия, методы сопоставления ситуаций и прецедентов для адаптации последних к текущим условиям. Известно, что в ментальном пространстве человека в процессе восприятия информации возникают ассоциативные связи. Наиболее активно используемыми считаются такие виды ассоциаций, как: смежность во времени или пространстве; сходство значений каких-либо признаков; противоположность семанти-

ческих значений; зависимость причина-следствие; обобщение (экземпляр – класс); подчинение (класс – экземпляр); отношение часть – целое. Так же ассоциации образуются между представлениями, формируемыми различными органами чувств. Ассоциативные связи и устойчивые ассоциации, с одной стороны, ускоряют понимание информации, с другой – делают его индивидуальным, персонифицированным, а значит, неоднозначным, зависящим от ощущений респондента.

Ассоциативные связи динамичны. При решении задач, возникающих в ходе жизненного цикла информационной системы, они модифицируются, развиваются, отмирают. В общем случае, при поиске решения ассоциативный ряд может привести куда угодно, если нет критериев целевого отбора и ранжирования признаков для поиска ассоциаций по степени важности для того или иного класса задач. Длина пути в ассоциативной сети не существенна для качества решения, поскольку после его нахождения он может быть оптимизирован, и в сети появятся новые связи. Это позволяет человеку в ходе восприятия новой информации естественным образом мгновенно подключать дополнительную информацию из ассоциативно связанных сущностей, в то время как метод аналогий, по крайней мере, в компьютерной реализации, требует сопоставления сетевых моделей или атрибутивных графов сущностей.

То же самое можно сказать и о процессах поиска дополнительной (вспомогательной, поясняющей) информации в системах искусственного интеллекта при решении сложных проблем. В книге [11] говорится, что «ассоциации» применяются как метод группировки по некоторому признаку (например, Зима, Снег, Белый, Холодно, Лед). Однако в реальных приложениях моделирование ассоциаций с помощью ассоциативных семантических сетей (логические пропозициональные модели) или самоорганизующихся ассоциативных карт Кохонена [18] (нейросетевые модели) требуют больших вычислительных ресурсов.

В работе [6] модель представления знаний субъекта предлагается рассматривать как ассоциативную сеть в виде орграфа, где вершины – абстрактные сущности, а дуги выделяют интересующие признаки. По-видимому, такой орграф более компактен по сравнению с кластерной организацией хранения похожих

прецедентов, поскольку устанавливает ассоциативные связи между понятиями, и, в то же время, дает возможность с помощью онтологии переходить к конкретным субъектам из накопленного опыта. Подход реализован на задаче поиска документов. К сожалению, сам по себе процесс формирования и реорганизации оргграфа ассоциативной сети во многих случаях может оказаться дорогостоящей операцией.

Ассоциативные методы семантического ранжирования спутниковых снимков с целью приближения к человеческим моделям понимания описаны в [16]. Размерность коллекции геопространственных данных растет в геометрической прогрессии. В статье предлагается методология снижения сложности ассоциативных методов в задачах поиска и ранжирования спутниковых изображений. Чтобы предоставлять целевую информацию для принятия решений аналитиками, выполняется оптимизация переборных совокупностей признаков с помощью генетических алгоритмов.

В работе [14] представлена система, в которой спутниковые изображения классифицируются и дополняются семантической информацией для обеспечения запросов о том, что можно найти на карте в определенном месте, а также о путях, куда можно перемещаться дальше. Это достигается с помощью системы онтологических рассуждений, основанной на качественных пространственных рассуждениях. Система способна найти ответы на запросы высокого уровня, которые могут варьироваться в зависимости от текущей ситуации.

Таким образом, технологии ассоциативных рассуждений на базе прецедентов можно считать весьма перспективным направлением дальнейшего развития систем поддержки принятия решений (СППР). Однако, недостатками известных подходов следует признать: 1) слабую структурированность прецедентов, хранимых в базах знаний и данных, что ведет к росту объема базы и снижает возможности методов адаптации прецедентов к текущим условиям; 2) «жесткость» ассоциативных сетей, создаваемых экспертами – на практике, от СППР зачастую требуется решать одновременно несколько информационно связанных задач, требующих наличия соответствующего количества ассоциативных сетей.

В данной статье предлагается модель (механизм) ассоциативных рассуждений при поиске в предметной онтологии информации, дополняющей описание анализируемой ситуации. Ситуация представляется в виде атрибутивного графа отношений между действиями и их участниками. В терминологическом разделе онтологии ситуации описываются с помощью дескриптивной логики с расширением на графы. Ассоциация формируется за счет выборки абстрактных понятий и конкретных объектов онтологии по близости к значениям известных свойств анализируемого элемента заданной ситуации. Соответственно, ассоциативный рассуждатель содержит этапы формирования ассоциативно связанных множеств понятий и поиска в них фактов, доопределяющих анализируемую ситуацию.

В разделе 1 предложена модель онтологии действий и участников, представленных атрибутивными графами. В разделе 2 описан алгоритм ассоциативного рассуждателя на онтологической базе знаний о действиях и участниках, который формирует ассоциативно связанные множества и извлекает из них факты, дополняющие анализируемую ситуацию. В разделе 3 приведен пример поиска в онтологии информации, которая может быть полезной для решения практических задач на знание правил дорожного движения. В Заключении сделаны выводы по работе.

## ***2. Модель онтологии действий и участников***

Интеллектуальные системы поддержки принятия решений и системы управления сложными объектами, как правило, основываются на процессных онтологиях, описывающих объект управления как совокупность взаимосвязанных процессов и отношений, которые требуется контролировать и поддерживать.

Дескриптивные или описательные логики (ДЛ) относятся к категории языков представления знаний. С их помощью в формализованном виде описываются понятия предметной области, а с помощью логических операций, правил и аксиом проверяется корректность определений и иерархий построения сложных понятий из простых, осуществляется поиск информации в базе данных онтологии.

В данной работе используется дескриптивная логика *ALC*. Логика *ALC* – *Attributive Language with Complement* [15, 5] является одной из базовых ДЛ. На основе нее строятся многие другие ДЛ для работы с базами знаний и онтологиями в различных предметных областях. Описание понятий, представляемых атрибутивными графами, аналогично работе [10]. Дескриптивные логики *ALC(G)* и *ALC(GI)*, предложенные в этой работе, являются расширением логики *ALC* на графы изображений и интересны в качестве примера моделирования рассуждений в таких предметных областях, где данные структурированы и представлены в виде атрибутивных графов отношений (*ARG* – *Attributed Relationship Graph*) или нечетких атрибутивных графов (*FARG* – *Fuzzy Attributed Relationship Graph*).

Особенностью описываемой ниже онтологии является наличие в ней *геометрических, алгоритмических, предикатных, графовых моделей*, которые служат в качестве имитационных моделей, а также для визуализации конкретных экземпляров с целью контроля корректности определений. С другой стороны, такой подход удобен и в тех случаях, когда онтология используется в качестве справочной системы.

*Определение 1.* Модель онтологии действий и участников АРО (*Actions and Participants Ontology*) определим как набор, состоящий из множеств концептов предметов *Subj*, процессов *Proc*, свойств *Property*, множества *Relation* атомарных отношений, множеств составных концептов сцен *Scene*, действий *Action*, сценариев *Script* и множества  $\Phi$  функций интерпретации на разделе данных:

$APO = \langle Subj, Proc, Property, Relation, Scene, Action, Script, \Phi \rangle$ , где:

множество *Relation* состоит из разновидностей отношений, связывающих между собой концепты в соответствии с проблематикой предметной области онтологии;

множество *Action* состоит из концептов, соответствующих глаголам действий естественного языка;

концепт время (*Time*) входит в категорию свойств.

Синтаксис построения составных концептов стандартный [5]. Также для описания знаний об индивидах применяется множество  $IN$  имен индивидов.

По сути,  $APO$  – это гранулярная онтология [19], поскольку множества  $Subj$ ,  $Proc$ ,  $Property$  могут быть выделены из одного базового множества  $C$  концептов, т.е.

$$C = Subj \cup Proc \cup Property,$$

а множества составных концептов  $Scene$ ,  $Action$ ,  $Script$  построены из атомарных. В данном случае цель грануляции – повышение наглядности терминологического раздела онтологии, а также ускорение поиска за счет того, что перечисленные категории конструируются по унифицированным схемам и не пересекаются между собой [9].

Множество **Свойство** содержит атомарные абстрактные концепты, которые используются для описания **собственных** (private) качеств объектов, присущих всякому объекту от природы. По областям науки – это физические, химические и т.п. свойства. Например: *Вес*, *Плотность*, *Скорость*, *Стоимость*. Соответственно, объекты приобретают параметры (признаки) *иметьВес*, *иметьПлотность*, *иметьСкорость*, *иметьДлительность*, *иметьСтоимость*.

Концепт **Отношение**, в отличие от концепта Свойство, задает **ситуативные** (external) атрибуты, которые дают дополнительные характеристики объекту, в зависимости от ситуации. В логике  $ALC$  они определяют двуместные и  $n$ -местные отношения как роли двух или более понятий в некоторых связках:

$$Relation \equiv C \sqcap \exists hasModel.Predicat \sqcap \exists hasType.TypeR \\ \sqcap \exists hasQuality.Property$$

$$\sqcap \exists (\geq 2 hasAttribute.(Subj \sqcup Proc \sqcup Scene \sqcup Action \sqcup Script)).$$

В интерпретации это означает существование отношения типа  $TypeR$  между объектами, указанными в ситуативных атрибутах  $hasAttribute$ , которое (отношение) имеет конкретное значение (уровень качества) по указанному свойству  $hasQuality.Property$ . Например, тип отношения  $TypeR$  принимает значения: *Принадлежность*, *Пространственное положение*, *Следо-*

вание, Сравнение, Участник действия и т.п., а значениями отношения, например, *Пространственное положение*, могут быть «слева», «сверху» и т.д.

Отношение имеет *предикатную модель* – высказывание, записанное на естественном языке или в логике предикатов 1-го порядка.

Ситуативные атрибуты характеризуют объект, описывая его отношения с внешним окружением, изменяющимся от ситуации к ситуации. Например, *иметьДом*, *иметьЖену*, *иметьСоседа*, *бытьИнструментомВоздействия*.

Концепт ***Предмет*** выделяет множество объектов, отображаемых *геометрической моделью* (чертеж, изображение, кинематическая схема, карта, трехмерная геометрическая модель, экранная форма, бланк, и т.п.). Между собой предметы различаются геометрическими моделями, собственными качествами и внешними атрибутами, зависящими от *назначения* (искусственные предметы) либо, наоборот, они находят то или иное применение благодаря присущим им качествам (природные объекты):

$$\text{Subj} \equiv C \sqcap \exists \text{hasModel.Geometric} \sqcap \exists \text{hasQuality.Property} \\ \sqcap \exists \text{hasAttribute.Relation} \sqcap \exists \text{hasAppointment.Action.}$$

Концепт ***ТочкаПривязки*** – подмножество атомарных концептов, которое служит для удобства описания составных конструкций из предметов и сцен. Оно включает в себя такие понятия, как, например: *ЛеваяСторона*, *ПраваяСторона*, *ПередняяСторона*, *Середина*, которые определяются относительно системы координат объекта.

Концепт ***Процесс***. В отличие от предметов, процессы имеют *алгоритмическую модель* (формула, алгоритм, программа). Назначением процесса является изменение чего-либо (например, нагревание, перемещение, старение), т.е. собственно процесс как таковой:

$$\text{Process} \equiv C \sqcap \exists \text{hasModel.Algorithmic} \sqcap \exists \text{hasQuality.Property.}$$

Концепт *Действие* связывает процесс и систему *процессуально-ролевых* отношений с участниками (ресурсами):

$$\begin{aligned}
 & Action \equiv Process \sqcap \exists hasPrecondition.Relation \\
 & \sqcap \exists hasPostcondition.Relation \sqcap \exists hasActor.Subj \\
 & \sqcap \exists hasRecipient.Subj \sqcap \exists hasObject.Subj \sqcap \exists hasTool.Subj \sqcap \dots
 \end{aligned}$$

Моделью действия служит алгоритмическая модель процесса. Атрибутами действия являются его участники: актер (исполнитель); бенефициант – заказчик, в чьих интересах выполняется действие; реципиент – приемник действия; предмет воздействия исходный, результирующий; сцена действия; инструмент и т.д. Интерпретация действия как системы зависимостей показывает, что результат и эффективность процесса существенным образом зависят от участников действия.

Составной концепт *Сцена* описывает место действия в виде конструкции, составленной из предметов и отношений пространственного положения.

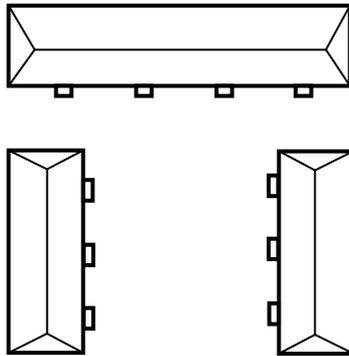


Рис. 1. Пример сцены, состоящей из трех предметов

Например, описание сцены, изображенной на рисунке 1, может выглядеть следующим образом:

*Микрорайон*  $\equiv Scene \sqcap \exists ( a: Building \sqcup b: Building \sqcup c: Building )$

$$\sqcap \exists hasAngle(a, b) = 90$$

$$\begin{aligned} & \sqcap \exists hasAngle(a, c). = 90 \\ & \sqcap \exists hasDistance((a: Building \sqcap \exists FrontLeftEdge), \\ & \quad (b: Building \sqcap \exists RightSide). = 20) \\ & \sqcap \exists hasDistance((a: Building \sqcap \exists FrontRightEdge), \\ & \quad (c: Building \sqcap \exists LeftSide). = 20) \end{aligned}$$

– имеются здания  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , угол между зданиями  $a$ ,  $b$  равен  $90^0$  и угол между зданиями  $a$ ,  $c$  равен  $90^0$ , расстояние от переднего левого края здания  $a$  до правой стороны здания  $b$  составляет 20 (м) и расстояние от переднего правого края здания  $a$  до левой стороны здания  $c$  составляет 20 (м).

Здесь префиксы  $a$ .,  $b$ .,  $c$ .: перед именем концепта обозначают непересекающиеся подмножества его экземпляров  $a:C \cap b:C = \emptyset$ ,  $a:C \cap c:C = \emptyset$ , то есть, на практике, идентифицируют индивиды. Префиксы имеют локальную область действия – в пределах одного составного понятия.

Концепт **Сценарий** имеет модель в виде атрибутивного графа, вершинами которого являются действия, участники, отношения, а ребрами – связи между ними:

$$Script \equiv Process \sqcap \exists hasModel.Graph \sqcap \exists hasQuality.Property \sqcap \exists hasAttribute.Relation.$$

Атрибутивный граф сценария дает возможность при поиске аналогий оценивать не только степень сходства, но и отличия. Для удобства поиска в список атрибутов, характеризующих сценарий, рекомендуется выносить основных участников (исполнители, место).

**Ситуация** рассматривается как состояние сценария – совокупность состояний предметов, процессов, отношений сценария, т.е. совокупность значений их параметров в некоторый момент или отрезок времени. Представляется также атрибутивным графом, вершинами которого являются действия, участники, отношения, а ребрами – связи между ними.

**Атрибутивный граф прецедента** (сцены, сценария, ситуации) – это кортеж [8]:

$$G = (V, E, A, R), \text{ где:}$$

$V$  – множество вершин  $v \in V$  включает в себя конкретные экземпляры предметов, действий и отношений предметной области;  $E$  – множество ребер  $e \in E$ ,  $e = (v_i R_{ij} v_j)$ ;  $A = (AH, VH)$  – гиперграф атрибутов, указывающий принадлежность атрибутов из множества  $A$  некоторой вершине  $v \in V$ ;  $R$  – множество связей между вершинами.

**Расширение дескриптивной логики ALC на графы** позволяет упростить описание запросов на поиск графовых структур данных – фрагментов сцен и ситуаций, цепочек отношений между конкретными объектами.

Для описания графов в множество атомарных концептов и ролей введем дополнительно следующие одноместные (концепты) и двуместные (роли) отношения:

$Node(x)$  –  $x$  является вершиной графа;

$Edge(x)$  –  $x$  является дугой графа;

$SubGraph(x)$  –  $x$  является подграфом рассматриваемого графа;

$hasSource(x: Edge, y: Node)$  – вершина  $y$  является началом дуги  $x$ , функциональное отношение (атрибут дуги);

$hasTarget(x: Edge, y: Node)$  – вершина  $y$  является концом дуги  $x$ , функциональное отношение (атрибут дуги).

**Правила поведения** представляются как сценарии. Интерпретируются с помощью моделей (функций) вида  $R(Situation, Action)$ . Для наглядности в онтологии они выделяются в отдельный класс.

В целом, онтологическая база знаний о действиях и участниках состоит из терминологического раздела  $TBox$  и раздела данных  $ABox$ , который включает базу данных графов и базу данных атрибутов.

Возможными интерпретациями атомарных концептов здесь являются не произвольные множества, а множество вершин и множество ребер графа. При проверке выполнимости составных формул терминологического раздела онтологии проверяется наличие искомым подграфов в предъявленном графе – ищутся цепочки или циклы нужного вида.

### 3. Алгоритм рассуждателя на основе ассоциаций

Суть предлагаемого подхода к поиску ассоциативных связей заключается в том, чтобы отыскивать в онтологической базе знаний не только прецеденты, близкие к анализируемой ситуации в целом, но и к отдельным элементам ситуации.

Задача ассоциативного рассуждателя состоит в том, чтобы по заданному описанию исходной ситуации и задачи извлечь из онтологии дополнительную информацию о подходящих действиях и возможных участниках этих действий. Собственно решение задачи – это прерогатива решателей задач.

Для получения дополнительной информации об объекте ситуации или каком-то его отношении с другим объектом того же или другого типа предлагается формировать ассоциативно связанные множества абстрактных понятий и конкретных объектов онтологии по близости к значениям известных свойств анализируемого элемента заданной ситуации. Тогда дополнительные факты для анализируемого объекта/атрибута/отношения можно извлечь из информации о других объектах, попавших в эту же ассоциацию.

*Определение 2.* Объекты, атрибуты, отношения считаются ассоциативно связанными в следующих случаях: 1) элементы онтологии имеют указанные свойства, например: *Скорость*, *Температура*; 2) значения указанного свойства элементов онтологии совпадают с заданной степенью точности, например: 90, 120; 3) элементы *похожи* друг на друга с заданной степенью сходства, например, *Стул*, *Кресло*.

Мерой близости элементов онтологии в процессе формирования ассоциативно связанных множеств служат: *евклидово расстояние* – для свойств предметов, процессов и отношений; *степень сходства* – для атрибутивных графов сцен, сценариев, ситуаций.

#### **Сопоставление графов (образов) прецедентов.**

Пусть  $G_1 = G(V_1, E_1, A_1)$  – граф известного образа;

$G_2 = G(V_2, E_2, A_2)$  – граф анализируемого образа;

$r = \langle A', A'' \rangle$  – набор (гребенка) анализируемых признаков,

где  $A'$  – множество имен признаков, определяющее *степень абстракции*,  $A''$  – множество коэффициентов, определяющих *точность сравнения* признаков как  $da_i = a_{1i} * a''_k$ .

Будем называть *общей гомоморфной частью*  $\tau(G_1')$  графов  $G_1$  и  $G_2$  часть  $G_2'$ , определенную на множестве  $V_2'$  и состоящую из всех ребер  $\tau(E_1) = E_2 = (g_{2i}, g_{2j})$ ,  $g_{2i}, g_{2j} \in V_2' \subseteq V_2$ , для которых существуют соответствующие ребра

$$E_1 = (g_{1i}, g_{1j}) = \tau^{-1}(E_2) = (\tau^{-1}(g_{2i}), \tau^{-1}(g_{2j})), \quad g_{1i}, g_{1j} \in V_1,$$

в графе  $G_1$ , при этом однозначное отображение  $\tau$  существует тогда и только тогда, когда вершины  $g_{2i}, g_{2j}$  и соответствующие им прообразы  $g_{1i}, g_{1j}$  совпадают в  $n$ -мерном пространстве  $A'$  анализируемых признаков с точностью, заданной  $A''$ .

**Степень сходства графов**, взвешенная по  $k$ -тому свойству, есть

$$C = \frac{\sum_{j=1}^n L_k(D'_{2j})}{\sum_{i=1}^n L_k(D_{2i})}$$

где  $\sum L_k(D_{2i}), \sum L_k(D'_{2j})$  – протяженность всех непересекающихся цепочек в графе известного образа и совпавших в анализируемом графе (соответственно), вычисленная с помощью суммируемых по цепочке значений  $k$ -того признака.

**Определение 3.** Модель ассоциативных рассуждений (Associative Reasoning Model) представляет собой кортеж [7]:

$$ARM = \langle O, \Phi, CF, Sit, ASit \rangle, \text{ где:}$$

$O$  – предметная онтология;

$\Phi$  – множество функций интерпретации понятий на разделе данных онтологии;

$CF$  – функция формирования ассоциативно связанных множеств;

$Sit$  – ситуация-запрос;

$ASit$  – дополненное описание ситуации (Augmented Situation).

**Алгоритм поиска ассоциативных связей.** В отличие от алгоритма проверки выполнимости понятий, заданных в логике *ALC*, здесь добавлено правило  $\exists R.C'$  установления существования связанных фактов (функция *FPrefix* сравнения префиксов концептов):

(1) Если найдены формулы, в которых концепт  $C'$  имеет один и тот же префикс, то следует взять только их общие экземпляры (факты):  $C1' := C1' \cap C2'$  и  $C2' := C1' \cap C2'$ , т.е. экземпляр встречается в различных отношениях с другими экземплярами.

(2) Если найдены формулы, в которых концепт  $C'$  имеет разные префиксы, то нужно взять разность множеств, т.е. разные экземпляры:  $C1' := C1' \setminus C2'$  и  $C2' := C2' \setminus C1'$ .

Приведенное правило исключает «лишние», не связанные отношением  $R.C'$  факты из рабочей базы данных АВОх  $A$  рассуждателя.

В результате запроса на поиск по заданному (известному) описанию очередного объекта анализируемой ситуации образуется *множество ассоциативно связанных* с ним объектов онтологии. Выборка дополнительных фактов об анализируемом объекте ситуации заключается в извлечении ранее неизвестных атрибутов из объектов этого множества.

#### 4. Пример

Задача: *На участке дороги с односторонним движением в обоих направлениях вы хотите обогнать грузовой автомобиль.*

Сценарий, как сказано в разделе 2, имеет модель в виде атрибутивного графа. Вначале сценарий данной задачи представляется в виде множеств предметов (таблица 1), действий (таблица 2) и отношений между ними (таблица 3).

Таблица 1. Предметы

|   | Имя предмета | Какой |
|---|--------------|-------|
| 1 | Дорога       |       |
| 2 | Полоса 1     |       |
| 3 | Полоса 2     |       |

|   |                       |  |
|---|-----------------------|--|
| 4 | Разделительная полоса |  |
| 5 | Авто 1                |  |
| 6 | Авто 2                |  |
| 7 | Авто 3                |  |

Таблица 2. Действия

|   | Имя действия | Какое | Актор  | Приемник | Место    | Направление |
|---|--------------|-------|--------|----------|----------|-------------|
| 1 | Двигаться    |       | Авто 1 |          | Полоса 1 | Вперед      |
| 2 | Двигаться    |       | Авто 2 |          | Полоса 1 | Попутное    |
| 3 | Двигаться    |       | Авто 3 |          | Полоса 2 | Встречное   |
| 4 | Обогнать     |       | Авто 1 | Авто 2   | Полоса 1 |             |

Таблица 3. Отношения

|   | Имя отношения | Значение | Субъект 1 | Субъект 2             |
|---|---------------|----------|-----------|-----------------------|
| 1 | Состоит из    | True     | Дорога    | Полоса 1              |
| 2 | Состоит из    | True     | Дорога    | Разделительная полоса |
| 3 | Состоит из    | True     | Дорога    | Полоса 2              |
| 4 | Место         | На       | Авто 1    | Полоса 1              |
| 5 | Место         | На       | Авто 2    | Полоса 1              |
| 6 | Место         | На       | Авто 3    | Полоса 2              |
| 7 | Следование    | Позади   | Авто 1    | Авто 2                |

Исходный граф сценария задачи показан на рисунке 2. Вершины графа сценария в нотации СеМС2 (Семантическая Модель Сценария [8]) отображают предметы, действия, отношения и их атрибуты в соответствии с понятием *Сценарий* онтологической базы знаний (ОБЗ). Ребра графа устанавливают связи между вершинами. Граф сценария можно формировать автоматически путем семантического анализа текста или создавать в интерактивном режиме в графическом редакторе СеМС на основании таблиц предметов, действий и отношений.

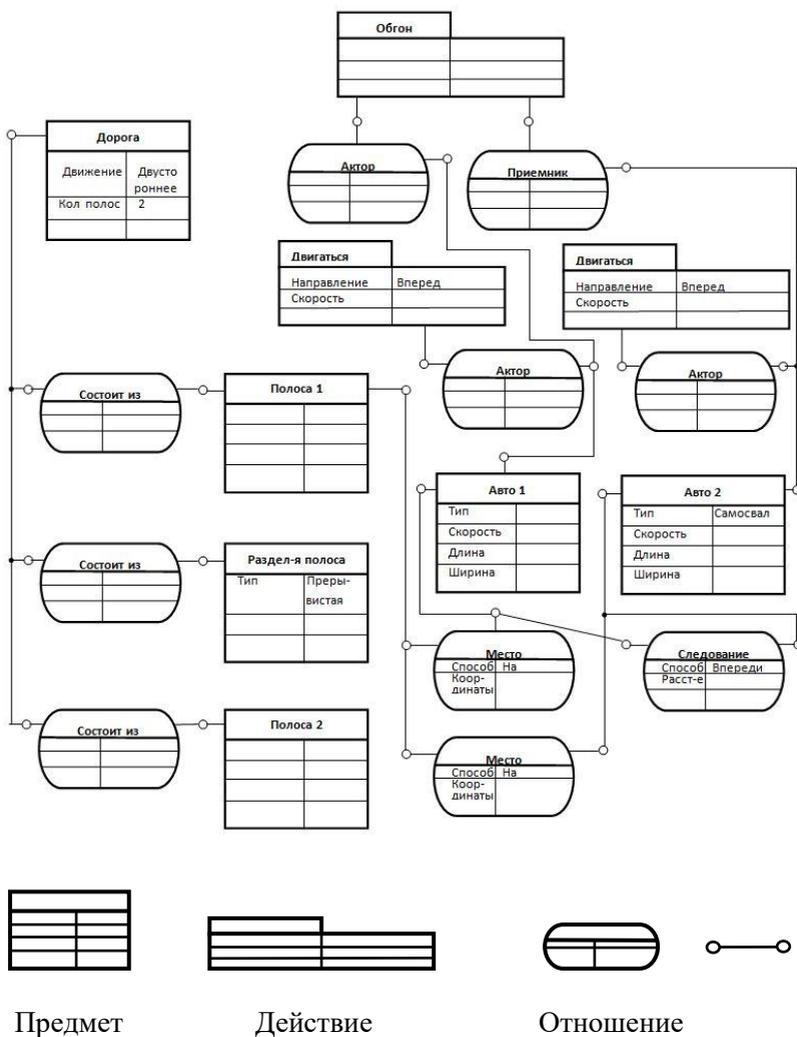


Рис. 2. Атрибутивный граф исходного сценария задачи «Обгон»

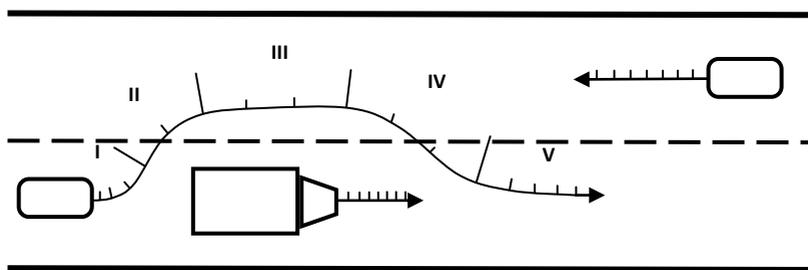
Пусть имеется онтологическая база знаний (ОБЗ) предметной области «Дорожное движение».

Ключевым словом в нашей задаче является слово «Обогнать». Построив множество ассоциативно связанных с ним объектов, мы выходим на понятия *Обгон* и *Правило обгона* [2]. Сценарий *Обгон* включает в себя три фазы – три действия в терминологии ОБЗ:

1. «Перестроение» – с выездом на встречную полосу движения.
2. «Опережение» – движение транспортного средства (ТС) со скоростью, большей скорости попутного ТС.
3. «Перестроение» – возвращение на ранее занимаемую полосу.

Правило п. 11.1: «Прежде чем начать обгон, водитель обязан убедиться в том, что полоса движения, на которую он собирается выехать, свободна на достаточном для обгона расстоянии и в процессе обгона он не создаст опасности для движения и помех другим участникам дорожного движения».

Отсюда следует, что в результирующем сценарии задачи подсценарий «Обгон» должен будет содержать четыре действия, включая в качестве нулевого действие «Убедиться». В данном случае это значит, оценить, то есть каким-то образом просчитать видимость участка дороги и расстояние до встречного автомобиля, если таковой присутствует.



*Рис. 3. Script Map предназначена для визуализации дополненного сценария. На стрелках отображены дискретные отсчеты времени: I – фаза ускорения; II – перестроение; III – опережение; IV – перестроение; V – замедление*

Кроме того, исходя из практического опыта вождения, а именно, из прецедентов в сценарий обгона часто добавляются действия (фазы): «Ускорение» – до перестроения на встречную полосу и «Замедление» – возвращение к прежнему скоростному режиму – после опережения и перестроения на ранее занимаемую полосу. Итого – шесть возможных действий, из них три найдены с помощью ассоциаций (рисунок 3).

Итак, если перед вами тяжелый грузовик, очевидно, необходимо действовать с особой осторожностью. Из описания ситуации нужно извлечь признак Тип обгоняемого автомобиля и далее снова, через ассоциативные связи, найти в базе знаний габариты, скорость, формулы, чтобы в точности убедиться, что Правило 11.1 не будет нарушено. За счет этого результирующий сценарий может стать еще более детализированным.

## **5. Заключение**

Таким образом, ассоциативные рассуждения в условиях неопределенности ситуаций заключаются в поиске дополнительных фактов в онтологической базе знаний и опыта с целью поддержки принятия управленческих решений при неполном описании ситуации. Суть предлагаемого подхода к поиску ассоциативных связей заключается в том, чтобы отыскивать в онтологической базе знаний не только прецеденты, близкие к анализируемой ситуации в целом, но и к отдельным элементам ситуации.

Достаточно для объектов анализируемой ситуации по их известным признакам сформировать ассоциации – ассоциативно связанные множества абстрактных сущностей и конкретных экземпляров, извлечь из них факты, которые позволят доопределить сведения о решаемой ситуации и с их помощью детализировать план действий. Степень обоснованности вывода при этом повысится, но результат вывода не будет постоянным, как это зачастую происходит и с человеком.

Ассоциативно связанные множества объектов создаются в рабочей памяти ассоциативного рассуждателя в процессе анализа заданной ситуации, и по указанию пользователя могут быть

сохранены в онтологической базе для повторного использования.

Концепты онтологии, определяемые на графах, служат для описания и извлечения фрагментов сцен и ситуаций, цепочек отношений между объектами, что важно при анализе сложных структур.

Модели геометрические, алгоритмические, предикатные, графовые, включенные в состав понятий онтологии, служат в качестве имитационных моделей, а также для визуализации конкретных экземпляров. С другой стороны, такой подход к организации онтологии действий и участников удобен и в тех случаях, когда онтология используется в качестве справочной системы.

Далее предполагается исследовать компьютерные модели совмещенного ассоциативного восприятия текстовой и зрительной информации, текстовой и слуховой и т.п. Например, ассоциации на прецедентах из аэрокосмических снимков, построенные с помощью распознанных подграфов, могут служить для уточнения анализируемой ситуации на очередной снимке, а также в качестве способа ограничения пространства поиска возможных планов действий.

### **Литература**

1. АВДЕЕНКО Т.В. *Система поддержки принятия решений в ИТ-подразделениях на основе интеграции прецедентного подхода и онтологии* // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2017. – № 3. – С. 85–98.
2. БЕРГ А. Т. *Правила дорожного движения Российской Федерации 2013. Официальный текст с комментариями и иллюстрациями*. – М.: Атберг 98, 2013.
3. ВАРШАВСКИЙ П.Р., ЕРЕМЕЕВ А.П. *Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений* // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. – С. 45–57.

4. [ВЫХОВАНЕЦ В.С. Информационная система с понятийной моделью предметной области // Управление большими системами. Выпуск 66. М.: ИПУ РАН, 2017. – С.25-67. URL: https://doi.org/10.25728/ubs.2017.66.2](https://doi.org/10.25728/ubs.2017.66.2)
5. ЗОЛИН Е. *Дескрипционная логика (лекции)*. – URL: <http://lpcs.math.msu.su/~zolin/dl/>
6. КАФТАННИКОВ И.Л. *Ассоциативная сеть как модель представления знаний субъекта // Программные продукты и системы*. 2006. № 1. – С. 32 – 35.
7. КУЧУГАНОВ В.Н. *Ассоциативная модель рассуждений в условиях неопределенности // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'19»*. Научное издание в 2-х томах. Т.2. – С. 10 - 13. – Таганрог: Изд-во Ступина С.А., 2019
8. КУЧУГАНОВ В.Н. *Элементы теории ассоциативной семантики // Управление большими системами*. Выпуск 40. – М.: ИПУ РАН, 2012. – С.30-48.
9. КУЧУГАНОВ В.Н. *Онтология и анимация прецедентов // Онтология проектирования*. – 2016. – Т. 6, № 3( 21). – С. 287-296. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-3-287-296.
10. КУЧУГАНОВ М.В., КУЧУГАНОВ А.В. *Дескрипционная логика на графах изображений // Вестник Удмуртского университета*. Математика. Механика. Компьютерные науки, Вып. 4, 2018, Т. 28. – С. 582-594. DOI: 10.20537/vm180410
11. ЛЮГЕР Дж. Ф. *Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем*, 4-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. – 864 с. (George F. Luger: Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving. 4th edition. ADDISON WESLEY, 2002. 903 p.)
12. МЫЗНИКОВ П. В. *Моделирование рассуждений на основе прецедентов в автоматическом анализе новостных текстов // Вестн. НГУ. Серия: Информационные технологии*. 2017. Т. 15, № 2. – С. 59-65.
13. РАССЕЛ С., НОРВИГ П. *Искусственный интеллект: современный подход*, 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1408 с. (Stuart J. Russel and Peter

- Norvig: Artificial Intelligence. A modern approach. (2nd edition). Prentice Hall, 2002. 1132 p.)
14. Alirezaie M., Kiselev A., Långkvist M., Klügl F., Loutfi A. An Ontology-Based Reasoning Framework for Querying Satellite Images for Disaster Monitoring. 2017.
  15. BAADER. F., NUTT W. *Chapter Basic Description Logics // The Description Logic Handbook*. Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2003; pp. 43–95.
  16. BARB A., NIL H. K.-E. *Genetic Optimization for Associative Semantic Ranking Models of Satellite Images by Land Cover // ISPRS Int. J. Geo-Information*, 2013, 2 , 531-552. DOI:10.3390/ijgi2020531
  17. KLUZNER V., TZADOK A., SHIMONY Y. et al. 2009. *Word-Based Adaptive OCR for Historical Books*. Proceedings of the 10th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR2009): 501-505. G.F. Luger, Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving, 6th edn, Addison-Wesley, New York, 2008.
  18. KOHONEN T. *Self-Organizing Maps (Third Extended Edition)*, New York, 2001, 501 pages. ISBN 3-540-67921-9
  19. ZADEH L.A. *Toward a Theory of Fuzzy Information Granulation and Its Centrality in Human Reasoning and Fuzzy Logic // Fuzzy Sets and Systems*. – 1997. – Vol. 90. – P. 111-127.

## ASSOCIATIVE RETRIEVAL UNDER UNCERTAINTY OF SITUATIONS

**V. N. Kuchanov**, Federal state budgetary institution of higher education «Izhevsk state technical University named after M. T. Kalashnikov», Izhevsk, Russia, Doctor of Science, professor (v.kuchuganov@mail.ru).

*Abstract: Real systems of retrieval and support for management decision making, as a rule, works under uncertainty. Descriptions of cases to be solved usually do not provide complete information. The article proposes a model (mechanism) of associative reasoning for information retrieval augmenting the description of analyzed situation. In contrast to the usually applied case-based reasoning approach, where the situation is represented as a point in a multidimensional feature*

*space, in this work situation is represented in the form of attributive graph of relations between actions and their participants. In terminological box of ontology situations (cases) are described using descriptive logic with extension to graphs. Association is formed by selecting from ontology such abstract concepts and concrete instances that are close in a feature space of analyzed element of given situation. Associative reasoner includes the stage of forming associatively connected sets and the stage of retrieval for facts in them that augmenting the analyzed situation. As an example of an associative augmenting, the situation when overtaking a car is considered. This can be useful, in particular, when solving practical problems on the knowledge of traffic rules.*

**Keywords:** situation, uncertainty, ontology of action, association, attributed relational graph, augmenting facts retrieval.

УДК 519.7

ББК 32.81