

DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2018.10.2.98-108
УДК 519.876.5

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПРОСТРАНСТВА КАК СРЕДСТВО ОЦЕНКИ СИТУАЦИОННОЙ ОСВЕДОМЛЕННОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИЕРАРХИЙ*

А. Я. Фридман

Институт информатики и математического моделирования технологических
процессов КНЦ РАН

Аннотация

На примере ранее разработанной автором системы ситуационного моделирования предложены методы когнитивной многокритериальной классификации и обобщения описания ситуаций в иерархических предметных областях. Методы учитывают прототипические эффекты и степень типичности представителей внутри одной категории согласно семантическим мерам близости категорий, моделируемых в концептуальных пространствах, что позволяет повысить гибкость классификации и ее устойчивость к неточности данных, а также скорость поиска прецедентов. Актуальность работы определяется необходимостью интеллектуализации систем моделирования сложных объектов в динамической окружающей среде для повышения информационной обеспеченности и эффективности принятия решений. Полученные результаты предлагается использовать как основу алгоритмического обеспечения современной системы распределенных интеллектуальных ситуационных центров для их эффективного развития и взаимодействия. ССМ могут создаваться на различных организационных уровнях (федеральном, региональном и корпоративном) с целью управления пространственными динамическими объектами соответствующих территориальных масштабов в условиях нормального функционирования и во внештатных ситуациях.

Ключевые слова:

когнитивная категоризация, концептуальное пространство, ситуационный подход, иерархическая система, имитационное моделирование.

AL SPACES AS A MEANS TO ESTIMATE SITUATIONAL AWARENESS IN MODELING DYNAMIC HIERARCHIES

Alexander Ya. Fridman

Institute for Informatics and Mathematical Modelling of the KSC of the RAS

Abstract

Exemplified with the system of situational modeling (SSM) earlier developed by the author, the methods of cognitive multicriteria classification, generalization of description and coordination of situations in hierarchical subject areas are proposed. Methods take into account the prototypical effects and the degree of typicality of representatives within one category according to the semantic proximity measures for categories modeled in conceptual spaces, which allows to increase the classification flexibility and its resistance to data inaccuracy, as well as the speed of search for precedents. The relevance of the work is determined by the need to intellectualize the systems for modeling complex objects in dynamic environments in order to improve informational provision and efficiency of decision-making. The obtained results are proposed to be used as a basis for algorithmic support of a modern system of distributed intelligent situational centers for their effective development and interaction. SSMS can be created at various organizational levels (federal, regional, and corporate ones) to manage spatial dynamic objects of appropriate territorial scales both under normal operational conditions and in emergencies.

Keywords:

cognitive categorization, conceptual space, situational approach, hierarchical system, simulation.

* Работа частично поддержана грантами РФФИ (проекты № 16-29-04424-офи_м, № 16-29-12901, № 18-07-00132-а, № 18-01-00076-а).



Введение

В предложенных Д. А. Поспеловым [1] системах ситуационного управления требуется решать ряд задач, основанных на результатах классификации некоторых структур или процессов. Во-первых, это собственно задача классификации ситуаций, где необходимо выяснить, к какому классу относится текущая ситуация, выявить пожелания ЛПР по дальнейшему управлению подчиненным ему объектом и предложить управление, реализующее эти пожелания с учетом состояния системы и имеющихся ограничений. Во-вторых, это задача обобщения описаний ситуации на основе их классификации с использованием множества прагматически важных признаков [1]. Во всех случаях при выработке рекомендаций желательно учитывать предшествующий опыт управления, то есть уметь анализировать архивы ситуаций и выявлять среди них аналоги текущей ситуации. Ввиду сложности управляемой системы не приходится рассчитывать на наличие полных аналогов, что приводит к необходимости привлечения интеллектуальных методов принятия решений. В частности, перспективным представляется переход от анализа классических категорий структур и процессов, основанных на отношениях эквивалентности, к методам предложенной в работе [2] и получившей значительное развитие [3–7] когнитивной (семантической) категоризации, которые учитывают прототипические эффекты и степень типичности представителей внутри одной категории [8], а также используют семантические меры близости категорий, моделируемых в так называемых концептуальных пространствах [9–11]. Поскольку требуется сопоставлять графовые структуры, обычно применяются методы поиска заданного шаблона в графах [12–14].

В настоящей статье рассматривается решение перечисленных проблем в рамках ранее разработанной системы ситуационного моделирования (ССМ) динамических иерархических пространственных комплексов (ДИПК) [15]. Полученные результаты предлагается использовать в качестве основы алгоритмического обеспечения современной системы распределенных интеллектуальных ситуационных центров для их эффективного развития и взаимодействия. ССМ могут создаваться на различных организационных уровнях (федеральном, региональном и корпоративном) с целью управления ДИПК соответствующих территориальных масштабов.

Ситуационный подход используется в различных предметных областях и формализуется различными способами [16–18]. Формальное определение термина «ситуация» обычно не дается, неформальные определения в той или иной степени соответствуют принятому в системном анализе описанию ситуации как некоторого стоп-кадра, фиксирующего значения всех существенных для решаемой задачи переменных и соотношения между ними в некоторый фиксированный момент времени. В общем случае ситуация определяется знаниями о структуре объекта, состоянии системы управления и о технологии (стратегиях) управления [1] в этот момент.

Представляется, что сложность метода ситуационного управления можно существенно снизить путем его адаптации к конкретным моделям предметных областей. В ССМ [15] дано формальное определение ситуации и основных аспектов ситуационного подхода для конкретной модели ДИПК, решены задачи классификации и обобщения ситуаций. Однако имеются трудности при построении классов ситуаций из-за недостаточно гибкой процедуры построения классов. В связи с изложенным в последующих разделах работы исследуются возможности применения когнитивной категоризации для развития ситуационного подхода к исследованию динамики пространственных объектов на базе концептуальной модели, образующей ядро ССМ.

Особенности концептуальных пространств

Поскольку в русскоязычной литературе не всегда удается найти устоявшиеся термины по рассматриваемой тематике, далее при необходимости приводятся соответствующие англоязычные конструкции. Концептуальные пространства (КП) [9–11, 19]) представляют собой

геометрические структуры, основанные на размерностях качества (quality dimensions — QD), которые определяют степень схожести или различия объектов. Суждения о сходстве и различии обычно порождают упорядочивающее отношение на множестве объектов, например, суждения о высоте звука порождают естественный порядок от «низкого» до «высокого». К размерностям качества относятся цвет, высота звука, температура, вес и три обычных пространственных измерения. Некоторые размерности тесно связаны с типами информации, которая анализируется нашими сенсорными рецепторами, но есть и абстрактные QD.

Понятие размерности следует понимать буквально. Предполагается, что каждая из качественных размерностей наделена определенными топологическими или метрическими структурами. Например, «время» представляет собой одномерную структуру, изоморфную прямой вещественных чисел. Аналогично, «вес» является одномерным с нулевой точкой, изоморфной полупрямой неотрицательных чисел. Некоторые QD дискретны, т. е. они просто делят объекты на классы, к примеру, пол какого-либо индивидуума.

Для преобразования суждений о сходстве в концептуальное пространство обычно используется многомерное шкалирование [8].

В концептуальных пространствах объекты характеризуются набором атрибутов или качеств. Каждое качество принимает значения в определенном домене (domain [20]), которые могут быть непрерывными или дискретными. Например, качество тона (или частоты) для музыкальных тонов принимает значения в области положительных действительных чисел. Объекты идентифицируются точками в концептуальном пространстве, представляющем собой декартово произведение доменов, а понятия есть области в этом пространстве.

Отношения сходства (similarity relations) фундаментальны для концептуальных пространств. Они фиксируют информацию из суждений о сходстве. Чтобы моделировать некоторые отношения сходства, концептуальное пространство наделяют мерой расстояния.

Определение 1. Мера расстояния d есть функция из $C \times C$ в T , где C — концептуальное пространство, а T — вполне упорядоченное множество.

Измерения расстояний приводят к естественной модели сходства: чем меньше расстояние между двумя объектами в концептуальном пространстве, тем они более похожи. Связь между расстоянием и сходством не обязательно линейна, например, сходство может экспоненциально убывать с расстоянием.

В частном случае, где мера расстояния есть метрика, *отношение промежуточности* (betweenness) между точками КП определяется так: b находится между a и c тогда и только тогда, когда $d(a; b) + d(b; c) = d(a; c)$.

Обычно полезны свойства связности, звездообразности и выпуклости областей в концептуальных пространствах.

Определение 2. Подмножество C концептуального пространства:

- (i) *связно*, если оно не является несвязным объединением двух непустых замкнутых множеств;
- (ii) *звездообразно* относительно точки p (называемой *точкой ядра*), если для всех точек x из C все точки между x и p также принадлежат C ;
- (iii) *выпукло*, если для всех точек x и y из C все точки между x и y тоже находятся в C .

Определение 3. Ядро звездообразной области C есть множество всех возможных точек ядра (см. (ii) Определения 2), обозначаемое *kernel* (C).

Категории и прототипы

Категоризация приводит к разбиению концептуального пространства на (значимые) субрегионы. Геометрическая природа концептуальных пространств, связанных с представлениями о прототипах и способностью манипулировать размерностями независимо друг от друга, обеспечивает гибкое и практичное представление контекстно зависимой категоризации. Контекст

формируется весами QD и/или добавлением/удалением экземпляров (individuals, objects), в том числе прототипов. Степень типичности экземпляров определяется их расстоянием до прототипа. Соответственно, в каждой категории некоторые члены считаются более представительными, чем другие [8–11]. Классификация объектов осуществляется путем определения их сходства с прототипом. Экземпляры выше некоторого порога сходства с прототипом принимаются как члены категории, все остальные экземпляры не являются членами. Прототипом не всегда служит один из реальных экземпляров, входящих в категорию, это может быть и некоторый идеальный набор значений атрибутов.

Основная идея заключается в том, что мозаику (диаграмму) Г. Вороного [10, 21], построенную вокруг прототипов по правилу ближайшего соседа, можно использовать для определения порога сходства, который формирует границы категорий. Другими словами, прототипы и базовое отношение сходства с ними применимы для разбиения концептуального пространства на категории, причем при использовании евклидовой метрики категории обладают свойством выпуклости.

Поиск шаблона в графах и ситуационная осведомленность

Сопоставление графов (Graph Matching) — это классический оптимизационный подход, который изучается в течение ряда лет и рассматривает два независимых графа. Первый граф называется *графом данных* (также входным графом) и содержит всю информацию с датчиков, собранную в определенной предметной области. Второй граф — *граф шаблона* (также именуется гипотезой/шаблоном/образцом) — описывает некоторую сигнатуру информации, которая интересует аналитика. Обычно шаблонный граф намного меньше, чем граф данных, и требуется исследовать синтаксическую и семантическую встречаемость шаблона в графе данных. Графовые представления широко используются для обработки структурированной информации в разных областях, таких как сети, психосоциология, интерпретация изображений, распознавание образов и т. д. Одна из важных проблем, которые необходимо решать при использовании таких представлений, — это сопоставление графов. Для достижения хорошего соответствия между двумя графами наиболее часто используется концепция изоморфизма графов, и много публикаций посвящено поиску наилучшего соответствия между двумя графами или подграфами. Однако в ряде случаев требование изоморфизма слишком сильное, тогда применяют методы неточного сопоставления графов [12–14], здесь два графа можно сравнить, даже если они семантически различны. В еще более слабом виде соответствия — «гомеоморфизме» — исключается условие, что вершины первого графа должны отображаться в разные узлы другого. Все упомянутые выше задачи NP-полны.

В неточном сопоставлении графов [14] некоторые строгие условия, налагаемые точным сопоставлением, ослаблены для учета возмущений в системе. В этом случае два узла, которые не удовлетворяют условию сохранения края, могут быть сопоставлены, но есть стоимость, назначенная этому отображению. Оптимальные алгоритмы неточного сопоставления всегда находят точное решение, если оно существует. Приближенный или субоптимальный алгоритм сопоставления обнаруживает локальные минимумы, которые могут быть далеко от глобальных минимумов.

В задачах оценки ситуации (см. обзор [22]) состояние объектов и отношения между ними также удобно представлять в виде графов. В настоящее время концепция ситуационной осведомленности (СО) (situation(al) awareness) описывает наиболее общие принципы подготовки и обработки информации для реализации ситуационного подхода в динамических предметных областях [18, 22–24]. Ситуационная осведомленность включает в себя осознание того, что происходит в окружающей среде, чтобы понять, как информация, события и собственные действия будут влиять на цели и задачи в текущий момент и в ближайшем будущем. Недостаточную или неверную осведомленность о ситуации считают одним из основных факторов, связанных

с несчастными случаями, которые вызваны «человеческим фактором» [22]. Таким образом, осведомленность о ситуации особенно важна в профессиональной деятельности, где поток информации может быть довольно высоким, а плохие решения могут привести к серьезным последствиям. Это особенно явно проявляется в высокодинамичных предметных областях (например, пилотирование самолета, военные действия, обращение с тяжелобольными или ранеными пациентами и т. п.), однако, по мнению автора, требует учета и в рассматриваемых задачах моделирования ДИПК, где время принятия решений достаточно велико, но остальные аспекты СО весьма существенны.

Формальное определение СО разделяется на три сегмента: восприятие элементов в окружающей среде, понимание ситуации и прогноз будущего статуса [24]. Наличие полной, точной и актуальной СО особенно важно, когда сложность процесса и ситуации вызывает сомнения в возможностях ЛПР (пользователя) самостоятельно справиться с этим. Ситуационная осведомленность признается важной, но зачастую труднодостижимой основой для успешного принятия решений в широком спектре сложных и динамичных систем, включая авиацию, управление воздушным движением, судовую навигацию, здравоохранение, экстренное реагирование, управление военными действиями и т. д.

Основы принципы СО, предложенные автором этого подхода М. Эндсли (например, [24]), можно резюмировать в следующем виде:

- 1) восприятие, понимание и прогнозирование как три базовых уровня СО;
- 2) значительная роль целей и целенаправленной обработки данных в направлении внимания и интерпретации значимости воспринимаемой информации;
- 3) роль специфики информации в «захватывании» внимания с учетом появляющихся данных (data-driven) и важность чередования целенаправленной (goal-driven) и управляемой данными (data-driven) обработки;
- 4) роль ожиданий (подпитываемых текущей моделью ситуации и информацией из долгосрочных хранилищ) в направлении внимания и интерпретации информации;
- 5) жесткие требования по ограничению рабочей памяти, сужающие СО для новичков и ЛПР, оказавшихся в новых ситуациях, но огромные преимущества умственных моделей и сопоставления образцов с прототипической схемой, которые в значительной степени обходят эти ограничения;
- 6) использование ментальных моделей для предоставления средств интеграции различных аспектов информации и понимания ее значения (применительно к целям), а также для поддержки возможностей людей по составлению полезных прогнозов вероятных будущих событий и состояний;
- 7) согласование шаблонов со схемами — прототипическими состояниями ментальной модели, что обеспечивает быстрое достижение понимания и возможность прогнозирования, относящихся к распознанной ситуации, а во многих случаях — извлечение адекватных ситуации действий за один шаг.

Некоторые исследователи критикуют этот подход за излишнюю общность (см., в частности, [23]). Представляется, что общие принципы СО действительно становятся реалистичными только применительно к конкретной модели принятия решений в той или иной предметной области. Поэтому далее они интерпретируются для ССМ.

Теперь покажем, как представленные выше концепты можно конструктивно использовать для улучшения информационной обеспеченности при поддержке принятия управленческих решений с помощью ССМ [15, 25]. Однако вначале необходимо привести краткие сведения об организации моделирования в этой системе.

Основы ситуационного моделирования

Напомним, что декларативный язык модели предметной области (МПО) в ССМ основан на аксиоматической теории множеств. Он включает концептуальные описания объектов реального мира, отношений и атрибутов этих объектов. В МПО допускается три вида элементов

(сущностей): объекты, процессы и данные (или ресурсы). Объекты образуют иерархию, отражающую организационную и пространственную структуру моделируемой системы, каждый из них может включать множество процессов, совокупность которых описывает преобразование некоторого множества входных ресурсов во множество его выходных данных. В результате выполнения какого-либо процесса данные меняются, система переходит в новое состояние. Отношения в МПО могут связывать подмножества любых ранее определенных в ней элементов.

Постановку задачи моделирования ЛПР осуществляет путем задания *исходной ситуации* — конечного списка имен ресурсов или фактов касательно состояния ДИПК. Экспертная система (ЭС) ССМ анализирует этот список и МПО, чтобы сформировать *полную ситуацию*, затрагивающую связный фрагмент модели, который содержит все интересующие ЛПР ресурсы, причем объект принятия решений (ОПР) есть корневой объект этого фрагмента, определяющий минимальный организационный уровень решения поставленной задачи. Полная ситуация может содержать альтернативные структуры подчиненной ОПР группы объектов, если они были предусмотрены при разработке МПО. Для этого либо используется декомпозиция некоторых объектов по классификатору ИЛИ, либо указывается возможность альтернативных путей получения входных ресурсов объектов. Следовательно, любая полная ситуация определяет множество *достаточных ситуаций*, каждая из которых уже не содержит альтернатив, поскольку в ней каждый объект с декомпозицией по ИЛИ заменяется одним из своих подобъектов и выбирается один из заданных альтернативных наборов ресурсов.

Сценарий [15] — последовательность достаточных ситуаций для выбранного ОПР — определяет конкретную структуру реализации задачи, на его основе можно автоматически сформировать корректное задание на имитацию поведения ДИПК по этому сценарию. Естественно, для имитации необходимо обеспечить наличие входных данных, то есть временных рядов значений для всех входных ресурсов достаточной (или полной, если предусмотрено изменение структуры ДИПК в ходе имитации) ситуации и начальных значений всех внутренних ресурсов. При наличии аналитических моделей процессов, во время имитации вызываются *исполнители процессов* — программы или функции, реализующие эти модели. Если аналитические модели по каким-либо причинам отсутствуют, исполнителями процессов и ресурсов могут служить наборы эвристических правил, которые хранятся в ЭС ССМ, специализированной для исследования ДИПК [15].

Классификация ситуаций может выполняться на каждом шаге имитации для ОПР либо любого объекта, которому подчинен ОПР. Класс текущей ситуации сообщается пользователю (ЛПР), который должен решить, в какой класс ситуаций он считает необходимым перевести моделируемый фрагмент. Если требуется изменить класс ситуаций, то модуль классификации выдает ЛПР для выбора один или несколько вариантов рекомендуемых достаточных ситуаций (структур моделируемого фрагмента), предпочтительных в выбранном классе.

Таким образом, в ССМ управление объектом сводится к выбору достаточных ситуаций в процессе моделирования. Цель классификации ситуаций состоит в сужении набора структур, допустимых на текущем шаге. Для этого, как принято в классической теории оптимального управления, достаточные ситуации сравниваются по значению некоторого функционала (*критерия качества*), зависящего от управлений и состояний объекта управления.

Вообще говоря, критерий качества любого элемента модели может содержать любые ресурсы, к которым этот элемент имеет доступ согласно МПО, то есть все входные и выходные ресурсы для процессов (кроме настроечных параметров их критерия качества), а для объектов — все ресурсы их самих и доминируемых ими объектов. Кроме того, при формировании критериев качества необходимо учитывать дополнительные структурные ограничения, зависящие от принятого *способа координации* взаимодействий его элементов [15, 26].

Таким образом, классификация ситуаций для всей МПО или любого ее связного фрагмента ставится следующим образом: на множестве правильно построенных достаточных ситуаций, реализуемых во фрагменте или модели, требуется найти ситуацию(и), предпочтительную по критерию качества ОПР.

Классификация в оперативном режиме работы (непосредственно в ходе моделирования) ведется по критерию качества вида:

$$\Phi ::= \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{a_i - a_{i0}}{\Delta a_i} \right)^2 \right)^{1/2} ::= \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \delta a_i^2 \right)^{1/2}, \quad (1)$$

где a_i — скалярные критерии качества данного объекта или процесса — ресурсы из списка его выходных параметров; m — длина этого списка, определяющая количество возможных классов ситуаций; a_{i0} и $\Delta a_i > 0$ — настроечные параметры, формализующие пожелания ЛПП относительно номинального значения некоторого скалярного критерия (a_i) и его допустимого отклонения (Δa_i)

от номинального значения; $\delta a_i ::= \frac{a_i - a_{i0}}{\Delta a_i}$ — относительное отклонение фактического значения

ресурса a_i от его номинального значения a_{i0} .

Следовательно, (1) есть обобщенный критерий, в котором коэффициенты важности обратно пропорциональны допустимым отклонениям скалярных критериев, что не лишено здравого смысла: чем важнее критерий, тем меньше его допустимое изменение и, соответственно, выше его вес в сумме (1).

По формуле (1) можно однозначно сопоставить текущие альтернативные структуры ОНР по степени их соответствия пожеланиям ЛПП, а также классифицировать их по признаку доминирования одного из скалярных критериев в обобщенных затратах на выходе ОНР. Всего классов, как уже отмечалось, m , в i -й класс входят те ситуации, для которых (по сравнению с другими слагаемыми) минимально одно и то же (i -е) слагаемое в сумме (1), а среди достаточных ситуаций i -го класса оптимальна та, для которой значение этого слагаемого минимально в данном классе [15, 25].

Задача классификации и обобщения ситуаций в ССМ решается с помощью набора программ, синтезирующих и анализирующих типы ситуаций для решения вопросов координации и согласования управлений на различных уровнях модели ССМ, а также обобщающих описаний ситуаций путем анализа пространственно-временных зависимостей между элементами ситуаций с помощью библиотеки пространственно-временных функций (ПВФ).

К настоящему моменту разработаны две пространственные функции, которые анализируют элементы, примыкающие к текущему геометрически либо имеющие одинаковые с ним значения заданных параметров сходства, и одна временная, обеспечивающая выборку ретроспективных данных за некоторый промежуток времени. ПВФ, а также комбинации ПВФ, однократно вложенные друг в друга, допускается включать в левые части правил ЭС ССМ.

В отличие от правил, генерируемых при обобщении ситуаций по их типам (этот вид обобщения описан ниже в п. 7), правила обобщения рассматриваемой здесь группы относятся не к ситуации в целом, а к отдельным объектам, процессам или даже ресурсам МПО. В ПВФ можно включать логические условия на различные характеристики элементов МПО, в том числе типы и категории этих элементов. В ССМ не предусмотрено автоматических процедур генерации правил данной группы, они конструируются пользователем.

Когнитивная категоризация в ССМ

Недостаток вышеописанного способа классификации ситуаций состоит в том, что результат зависит не только от структуры ОНР, но и от значений ресурсов, то есть переменных величин, которые редко повторяются в ходе работы объекта. Все представленные выше графовые методы нельзя непосредственно применить к ССМ, поскольку они рассчитаны на сетевые модели и не учитывают постулированную в работе [1] иерархичность описания ситуации. Поэтому в статье [27] предложен метод многокритериальной классификации ситуаций нормализованной модели Тверски (НМТ) [28], модифицированной для иерархических объектов.

Известная НМТ определяет расстояние между двумя объектами a и b так:

$$S(a, b) = f(A \cap B) / [f(A \cap B) + \alpha f(A - B) + \beta f(B - A)], \quad (2)$$

где A и B — множества свойств этих объектов; $/$ — символ деления чисел, символ обозначает разность множеств; f — некоторая функция; неотрицательные α и β — веса для общих и различных свойств объектов. В большинстве методов в качестве функции f используется мощность множества-аргумента.

Для ССМ в работе [27] разработана модификация (2) — иерархическая модель Тверски (ИМТ), соответствующая Определениям 1–3 из п. 2:

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{i} S_i, \quad (3)$$

где $i = 1, 2, \dots, N$ — номер уровня иерархии, а каждая S_i вычисляется по формуле (2) для подмножеств свойств, входящих в описание этого уровня.

При сравнении иерархических структур множества A_i и B_i включают имена объектов уровня i . Сделано естественное предположение (3), что различия в свойствах на нижних уровнях иерархии должны влиять на результаты классификации меньше, чем на более высоких уровнях. На основе такой классификации строится отображение, переводящее текущую ситуацию в наиболее близкую (семантически) ситуацию из желаемого класса и при этом обеспечивающее минимум структурных различий между целевой и текущей ситуациями, то есть минимизирующее распространение возмущений в процессе перевода. Вводя веса слагаемых в выражение (3), можно учесть экспертные мнения о важности уровней.

Концепция ситуационной осведомленности в ССМ

Описанная выше ИМТ (3) дает хорошую основу для работы с ситуациями в ССМ, однако дополнительные исследования показали, что до классификации требуется выполнить формирование и тщательную предварительную обработку архива хранимых в памяти ССМ ситуаций. Далее представлены принципы их компоновки и селекции в архиве ССМ.

Естественно, архив должен содержать все реальные сценарии работы ССМ в данном приложении, но основной массив информации создается по результатам имитационных экспериментов с МПО. После имитации в архиве должны быть наборы предпочтительных ситуаций всех классов, заданных критерием (1) для всех ОПР, входящих в МПО, для чего решаются следующие задачи.

Исследование устойчивости сценариев к ошибкам в исходных данных на основе методов теории чувствительности, которая применяется в автоматическом управлении (например, [29]) с целью повышения точности прогноза при небольших изменениях исходных данных. Приемлемой считается модель, в которой удельная величина изменения критерия (1) сопоставима с вызвавшими ее относительными вариациями исходных данных.

Обобщение ситуаций. В работе [1] отмечается необходимость обобщения описаний ситуации на основе их классификации по существенным признакам, множество которых требуется синтезировать. Для этого предлагается следующая процедура применения ИМТ (3).

После классификации ситуаций по критериям (1) генерируется значительное количество классов ситуаций, полученных для различных ОПР и различных листовых объектов этих ситуаций, что однозначно определяет данную ситуацию ввиду древовидности декомпозиции объектов в МПО ССМ. После отбраковки ситуаций, не удовлетворяющих требованию устойчивости, согласно ИМТ формируются классы предпочтительных ситуаций для каждого ОПР, внутри класса достаточным ситуациям присваиваются уникальный тип и порядковый номер по степени предпочтительности по критерию (1) в пределах этого класса. Порядковый номер класса определяется индексом ресурса, который доминирует в этом классе, в критерии (1) для данного ОПР.

Прототипическая достаточная ситуация каждого класса получает порядковый номер 1. Обобщение описаний ситуаций в ССМ включает два основных этапа:

- поиск общих признаков ситуаций, попавших в один класс для каждого исследованного фрагмента МПО;
- поиск вхождений ситуаций в ситуации более высоких уровней (номер уровня здесь задается уровнем нахождения ОПР), который осуществляется средствами Graph Matching (см. п. 4).

Результаты обобщения формируются в виде правил ЭС ССМ [15, 25, 30], включающих как положительные, так и отрицательные примеры.

Затем оценивается эффективность предусмотренных в МПО альтернатив. Эффективность альтернатив тем выше, чем в более широкий набор классов ситуаций попадают различные варианты этих альтернатив. С точки зрения СО можно упорядочить альтернативы по этому критерию и выяснять мнение ЛПР вначале по наиболее эффективным альтернативам. Верно и обратное: некоторая альтернатива неэффективна для данного ОПР, если ни один из имеющихся вариантов выбора не переводит достаточные ситуации в другой класс. В ходе обобщения ситуаций целесообразно заранее выявить набор свойств самых эффективных альтернатив. Результаты оценки эффективности альтернатив формализуются в виде правил ЭС ССМ (в ситуационном управлении они именуются логико-трансформационными правилами [1]) и управляют процессом классификации ситуаций.

Особенности КП и СО в ситуационном моделировании

По сравнению с традиционными областями применения когнитивной категоризации [9–11, 19], основное отличие КП ССМ заключается в существенной переменности состава и количества QD в ходе моделирования, даже для одного и того же ОПР. Кроме того, домены QD в ССМ в общем случае имеют иерархическую структуру.

Первое отличие вызвано наличием альтернатив реализации в каждой полной ситуации. При переводе модели в другой класс ситуаций меняется и структура МПО: появляются или исключаются те или иные элементы модели, это могут быть как объекты, так и процессы. Соответственно, в КП должны появляться или удаляться домены этих элементов. Иерархия доменов выстраивается следующим образом: каждый процесс определяет одну QD с доменом, равным декартову произведению доменов входных ресурсов этого процесса. Поскольку объекту можно приписать несколько процессов, его домен есть декартово произведение доменов тех процессов, которые потребляют ресурсы от других объектов или из внешнего мира. Домен ОПР представляет собой декартово произведение доменов всех подчиненных ему листовых объектов и, очевидно, будет скачкообразно меняться при переходе от одной достаточной ситуации к другой. Следовательно, в ИМТ (3) может меняться состав учитываемых в ней множеств и процедуры автоматического контроля корректности МПО должны отслеживать правильность выбора текущего КП.

Что касается СО в ССМ, приведем конкретизацию (под теми же порядковыми номерами) принципов СО, перечисленных в п. 4:

1) восприятие моделируется заданием исходной ситуации, понимание — формированием полной ситуации и определением организационного уровня решения задачи, прогнозирование — имитационным экспериментом;

2) цель моделирования задается ЛПР путем выбора желательного класса ситуаций в ходе моделирования;

3) специфика информации учитывается выбором исходной ситуации и автоматической отбраковкой неперспективных альтернатив;

4) ожидания ЛПР в ССМ формализуются выбором доминирующего частного критерия в обобщенном критерии (1) и составом допустимых альтернатив, заложенных в МПО при ее создании.

Оставшиеся принципы СО связаны с ментальной моделью предметной области, которая в ССМ задается с помощью МПО, при этом существенную роль играют принципы когнитивной категоризации, описанные в пп. 3, 6.

Заключение

Для задач ситуационного управления разработан комплекс методов когнитивной многокритериальной классификации и обобщения описания ситуаций в иерархических предметных областях. Методы учитывают степень типичности представителей внутри одной категории согласно семантическим мерам близости категорий, моделируемых в концептуальных пространствах, что позволяет повысить гибкость классификации и ее устойчивость к неточности данных, а также скорость поиска аналогов текущей ситуации.

Отличия разработанной системы моделирования состоят в интеграции средств, которые ориентированы на исследование ДИПК как трудно формализуемых сложных нестационарных пространственных объектов. К таким средствам относятся совместная логико-аналитическая обработка данных и ситуационный анализ состояния изучаемого объекта с применением экспертных знаний и учетом пространственно-временных зависимостей в характеристиках ДИПК, которые выполняются с использованием картографической информации.

Направления дальнейших исследований по представленным задачам включают:

- поиск и описание структур достаточных ситуаций, устойчивых к вариациям начальных условий, для каждого класса ситуаций с оценкой степени ситуационной осведомленности [18, 22–24];
- исследование задачи координации и планирования управлений при наличии в системе нескольких ЛПР [15, 32];
- анализ возможностей ускорения и снижения сложности алгоритмов управления выводом и обработки ситуаций в ССМ [33].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Поспелов Д. А.* Ситуационное управление: теория и практика. М: Наука, 1986.
2. *Rosch E. H.* Natural categories // *Cognitive Psychology*. 1973. Vol. 4, No. 3. P. 328–350.
3. *Sowa J. F.* Conceptual Structures — Information Processing in Mind and Machines. Addison-Wesley Publ. Comp. 1984.
4. *Lakoff G.* Women, Fire, and Dangerous Things. Chicago, IL: The University of Chicago Press, 1987.
5. *Кузнецов О. П.* Когнитивная семантика и искусственный интеллект // *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2012. № 4. С. 32–42.
6. *Кучуганов В. Н.* Элементы теории ассоциативной семантики // *Управление большими системами*. М., 2012. Вып. 40. С. 30–48.
7. *Кучуганов В. Н.* Ассоциативная семантика ситуаций и сюжетов // *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2014. № 2. С. 42–51.
8. *Decock L., Douven I.* What is Graded Membership? // *Noûs*. 2014. No. 48. P. 653–682.
9. *Gärdenfors P.* Conceptual Spaces: The Geometry of Thought. A Bradford Book. Cambridge, MA: MIT Press, 2000.
10. *Gärdenfors P.* Geometry of Meaning: Semantics Based on Conceptual Spaces. Cambridge, MIT Press, 2014.
11. *Zenker F., Gärdenfors P.* Applications of Conceptual Spaces // *The Case for Geometric Knowledge Representation*. Synthese Library. Springer. 2015. Vol. 359.
12. Enhancements to High Level Data Fusion using Graph Matching and State Space Search / *K. Sambhoos [et al.]* // *Information Fusion*. 2010. Vol. 11, No. 4. P. 351–364.
13. *Препарата Ф., Шеймос М.* Вычислительная геометрия: введение. М.: Мир, 1989.
14. *Šiljak D. D.* Dynamic Graphs // *Intern. Conf. on Hybrid Systems and Applications*, Lafayette, LA, May 22–26, 2006 / Univ. of Louisiana. 2006.
15. *Фридман А. Я.* Ситуационное управление структурой промышленно-природных систем. Методы и модели. Saarbrücken: LAP, 2015.
16. *Мелихов А. Н., Берштейн Л. С., Коровин С. Я.* Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М., 1990.
17. *Мишин С. П.* Оптимальные иерархии управления в экономических системах. М.: ПМСОФТ, 2004.
18. *Endsley M. R.* Situation awareness: Progress and directions // *A cognitive approach to situation awareness: Theory and application* / S. Banbury & S. Tremblay. Aldershot: Ashgate Publishing, 2004. P. 317–341.
19. *Zenker F., Gärdenfors P.* Communication, Rationality, and Conceptual Changes in Scientific Theories // *Applications of Conceptual Spaces. The Case for Geometric Knowledge Representation* // Synthese Library. Springer, 2014. Vol. 359. P. 259–277.
20. *Gärdenfors P., Lohndorf S.* What is a domain? Dimensional structures versus meronomic relations // *Cognitive Linguistics*. 2013. Vol. 24, No. 3. P. 437–456.
21. *Voronoi G.* Nouvelles applications des paramètres continus à la théorie des formes quadratiques // *J. für die Reine und Angewandte Mathematik*. 1908. Vol. 133, No. 133. P. 97–178.
22. *Lundberg J.* Situation Awareness Systems, States and Processes: A holistic framework // *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. 2015.
23. *Banbury S., Tremblay S.* A cognitive approach to situation awareness: Theory and application. Aldershot: Ashgate Publishing, 2004. P. 317–341.
24. *Endsley M. R.* Final Reflections: Situation Awareness Models and Measures // *J. Cognitive Engineering and Decision Making*. 2015. Vol. 9, No. 1. P. 101–111.
25. *Фридман А. Я., Курбанов В. Г.* Формальная концептуальная модель промышленно-природного комплекса как средство управления вычислительным экспериментом // *Труды СПИИРАН*. 2014. № 6 (37). С. 424–453.
26. *Месарович М., Мако Д., Такахара И.* Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973.

27. Фридман А. Я., Кулик Б. А. Когнитивная категоризация в многокритериальных задачах ситуационного управления // Пятнадцатая национал. конф. по искусственному интеллекту с междунар. участием КИИ-2016 (3–7 октября 2016 г., Смоленск, Россия): тр. конф. в 3 т. 2016. Т. 2. С. 225–234. 28. Tversky A. Features of similarity // Psychological Review. 1977. Vol. 84, No. 4. P. 327–352. 29. Томович Р., Вукобратович М. Общая теория чувствительности. М., 1972. 30. Фридман А. Я., Кулик Б. А., Курбанов В. Г. Метод управления прямым логическим выводом в интеллектуальных системах с дискретными доменами переменных // Информационно-управляющие системы. 2015. № 1. С. 29–34. 31. Kulik B., Fridman A. N-ary Relations for Logical Analysis of Data and Knowledge. IGI Global, 2017. 32. Фридман А. Я. Координация и планирование управлений в локально организованных иерархических системах // Системный анализ и информационные технологии: труды Шестой междунар. конф. САИТ-2015 (15–20 июня 2015 г., Светлогорск, Россия): в 2 т. М.: ИСА РАН. Т. 1. С. 115–124. 33. Фридман А. Я. Управление комбинированным выводом в дискретных интеллектуальных системах // Информационно-управляющие системы. 2015. № 3. С. 35–39.

Сведения об авторе

Фридман Александр Яковлевич — доктор технических наук., ведущий научный сотрудник Института информатики математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН
E-mail: fridman@iimm.ru

Author Affiliation

Alexander Ya. Fridman — Dr. Sci. (Engineering), Leading Scientific Researcher of the Institute for Informatics and Mathematical Modelling of the KSC of the RAS
E-mail: fridman@iimm.ru

Библиографическое описание статьи

Фридман, А. Я. Концептуальные пространства как средство оценки ситуационной осведомленности при моделировании динамических иерархий / А. Я. Фридман // Вестник Кольского научного центра РАН. 2018. № 1 (10). С. 98–108.

Reference

Fridman Alexander Ya. Conceptual Spaces as a Means to Estimate Situational Awareness in Modeling Dynamic Hierarchies. *Herald of the Kola Science Centre RAS*, 2018, vol. 1 (10), pp. 98–108 (In Russ.).