

Реализация ситуационного подхода на основе нечеткой иерархической ситуационно-событийной сети

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы поддержки принятия решений при планировании и оперативном управлении сложными организационно-техническими системами. Обосновано применение аппарата нечетких ситуационных сетей при решении указанного класса задач. Предложена классификация нечетких ситуационных сетей, исходя из особенностей их построения и функционирования. Разработана новая модель нечеткой ситуационной сети – нечеткая иерархическая ситуационно-событийная сеть, позволяющая преодолеть существующие ограничения аппарата нечетких ситуационных сетей при решении рассматриваемого класса задач. Рассмотрены различные вопросы построения и использования сетей данного типа, а также предложена структура базы знаний на их основе.

Ключевые слова: нечеткий ситуационный подход, поддержка принятия решений, сложные организационно-технические системы, нечеткие ситуационные сети.

1. Методы для задач поддержки принятия решений

В настоящее время активно ведутся исследования в области создания систем поддержки принятия решений (СППР) при управлении сложными организационно-техническими системами. При этом усиливается их ориентация на решение слабоструктурируемых и неструктурируемых проблем, характеризующихся невозможностью использования методов и моделей, основанных на точном описании проблемных ситуаций.

В результате для выработки управляющих решений широкое распространение получили системы, использующие формализованный опыт и знания специалистов в соответствующих предметных областях, на основе продукционного логического вывода, фреймовых моделей [1], семантических сетей [2–4], когнитивных карт [5].

При этом модели логического вывода и представления знаний все больше адаптируются к описанию сложных систем, учитывая как иерархичность, так и возможность удобного объектно-ориентированного описания систем. С этой целью модифицируется формальный ба-

зис логического вывода и реляционной алгебры. В результате чего возникли различные виды вывода на иерархических структурах и многоуровневая упорядоченно-сортная алгебра [6–8].

Одним из наиболее сложных классов задач поддержки принятия решений является планирование и оперативное управление сложными организационно-техническими системами. Ряд особенностей указанного класса задач не позволяют применять подходы к созданию СППР, основанные на построении моделей объектов управления и их анализе [9–12]. Такими особенностями являются:

- высокие требования к качеству и оперативности управления при наличии дефицита времени на выработку и принятие управляющих решений;
- большое число факторов, учитываемых в процессе принятия решений, которые сложно или невозможно корректно формализовать аналитически;
- неполнота, неточность, а, зачастую, недостаточная достоверность информации, на основе которой вырабатываются решения;

- изменение качества информации в процессе выработки решений;
- качественный характер описания ситуаций и управляющих решений;
- наличие ряда существенно различающихся функциональных аспектов управления;
- быстро изменяющиеся цели управления;
- непостоянство состава управляемой системы;
- уникальность условий конкретных задач принятия решений;
- наличие качественной и стохастической неопределенности при описании результатов управляющих решений;
- необходимость учета последствий управляющих решений.

Примерами подобных областей выступают планирование и оперативное управление деятельностью организации, обладающей широкой сетью филиалов, управление и координация действий различных служб в чрезвычайных ситуациях, управление крупным, разнородным по составу, инвестиционным портфелем при торговле на позициях длительностью несколько часов.

Указанные особенности позволяют обосновать перспективность построения СППР на основе ситуационного подхода, определяющим принципом которого является формирование не столько модели самого объекта, сколько модели управления им.

Существует ряд методов, реализующих различные черты ситуационного подхода. Значительная группа методов ориентирована на формирование искусственного языка описания ситуаций и отношений между объектами [10]. Однако построение семиотической модели объекта управления и протекающих в нем процессов не всегда оправдано. Для многих достаточно сложных систем подобное описание становится громоздким. Процесс создания языка весьма трудоемок и далеко не всегда приводит к положительному результату.

Другая группа методов основана на представлении ситуации в виде совокупности значений фиксированного набора признаков [9, 13]. В определенных условиях данные методы могут быть сведены друг к другу, однако имеют и ряд существенных различий.

Принципы ситуационного управления широко внедряются в классические модели. Примерами могут служить – семантические ситуационные сети, дискретные ситуационные сети [14], некоторые виды вывода на основе аналогий [2].

Однако недостаточность или неопределенность знаний об исследуемой системе, неполнота, неточность, недостаточная достоверность информации, на основе которой принимаются решения, а также практическая невозможность ее уточнения в силу дефицита времени обуславливают перспективность реализации ситуационного подхода при решении рассматриваемого класса задач на основе методов нечеткой логики.

Совокупность методов ситуационного подхода и нечеткой логики получила название нечеткого ситуационного подхода (НСП). Существуют различные методы, реализующие нечеткий ситуационный подход. Большинство из них основано на представлении ситуаций в виде совокупности нечетких значений фиксированного набора признаков. К данной группе относятся методы: нечеткого логического вывода, нечеткой классификации, многокритериальной оценки и выбора альтернатив, анализа совокупности ситуаций в виде графовых структур [9, 11, 15]. Совокупность указанных методов позволяет построить системы поддержки принятия решений на основе нечеткого ситуационного подхода для различных сложных объектов. Характерным примером являются бортовые советующие системы в боевой авиации, гражданском транспорте [16–19].

Однако для сложных организационно-технических систем требуется не просто идентифицировать текущую ситуацию и соответствующее ей множество управляющих решений, но и определить рациональные пути достижения целей функционирования системы, для чего требуется просчитать возможные последствия последовательности управляющих решений на несколько шагов вперед. Данные задачи требуют привлечения дополнительных методов.

В работе [9] обобщены и расширены представления о ситуационных системах и вводится понятие нечеткой ситуационной сети (НСС).

Ситуационные советующие системы на основе нечетких ситуационных сетей основываются на представлении совокупности типовых состояний системы в виде узлов графа, переходы которого соответствуют управляющим решениям. При этом база знаний не содержит в явном виде продукций, ставящих в соответствие ситуациям управляющие решения. Последовательность управляющих решений, переводящих систему из текущего состояния в

состояние, описываемое целевой ситуацией (ситуацией, наилучшей в смысле выбранной системы оценок), определяется путем вывода по сети.

СППР на основе НСС с успехом применяются для отдельных промышленных объектов, малых предприятий или задач стратегического управления [20–22]. Однако применение НСС в СППР при управлении сложными организационно-техническими системами (особенно в задачах оперативного управления) ограничено рядом факторов [23].

Во-первых, несмотря на то, что для широкого класса моделей разработаны эффективные способы уменьшения размерности пространства признаков на основе построения иерархии и использования объектно-ориентированного подхода, относительно НСС подобные вопросы не рассматривались.

Во-вторых, в классической постановке в моделях “ситуация – действие” каждой типовой ситуации сопоставляется свое множество допустимых действий, тогда как в моделях “ситуация – стратегия управления – действие”, ситуации скорее описывают типовые состояния, чем служат указанием на применимость решений. Тем самым позволяют применять любое решение (полустепени исхода в НСС одинаковы для всех узлов), что также влияет на размерность задачи. Целесообразным является совместное применение данных моделей, позволяющее задать в явном виде для каждой типовой ситуации множество возможных управляющих решений, что ограничивает число возможных переходов в НСС.

В-третьих, отсутствие учета стохастической неопределенности, характерной для многих задач ситуационного управления [24]. Иначе говоря, если рассматривать НСС как аналогию некоторой модели детерминированного автомата, созданную для нечеткого случая, то очевидно отсутствие нечеткого аналога стохастического автомата.

В-четвертых, представление нечеткой ситуации в виде нечеткого множества второго уровня, характерное для существующих моделей НСС, затрудняет формулирование эталонных ситуаций экспертом и требует большего числа операций при сравнении входной и эталонной ситуаций, чем при задании ситуации в виде посылки продукционного правила. Изменение же способа представления нечеткой си-

туации, в свою очередь, требует разработки новых способов представления управляющих решений, что особенно актуально при динамическом построении НСС.

В-пятых, недостаточный учет фактора времени и продолжительности реализации управляющих решений, что присуще большинству систем ситуационного управления [25, 26].

В-шестых, недостаток, присущий большинству моделей, используемых в СППР при решении задач управления сложными организационно-техническими системами – недостаточный учет такой стороны сложных систем, как множественность аспектов их рассмотрения.

Снятие указанных ограничений позволит повысить эффективность СППР на основе нечетких ситуационных сетей при решении задач планирования и оперативного управления сложными организационно-техническими системами.

2. Классификация моделей НСС

Под нечеткой ситуационной сетью в широком смысле будем понимать некоторую структуру, описывающую возможную совокупность состояний системы управления, представленную узлами сети, и путей перехода между ними, соответствующих управляющим решениям.

Под состоянием системы будем понимать набор нечетких значений характеристик управляемой системы, достаточный для анализа. Нечеткое состояние при этом описывает сразу некоторое множество возможных четких состояний управляемой системы. В дальнейшем четкие состояния будем именовать частными состояниями, а нечеткие состояния – обобщенными состояниями.

Можно выделить большое число типов ситуационных сетей, классифицируемых по способу организации различных сторон ее построения и функционирования. Применение того или иного типа сети определяется особенностями предметной области (сложностью структуры, составом характеристик управляемой системы, особенностями реализации управляющих решений) и требованиями к сети как составляющей процесса принятия решения (требуемая/достаточная степень адекватности, полноты, гибкости).

Заметим, что построение нечеткой ситуационной сети в общем случае подразумевает на-

личие эталонных ситуаций – одной или нескольких групп обобщенных состояний, объединенных общим набором системных характеристик и способом представления (в виде посылки продукционного правила или нечеткого множества второго порядка), к которым приписывают конкретные наборы управляющих решений. Эталонные ситуации обобщают близкие состояния системы, свойственные различным типовым ситуациям принятия решения. Лингвистические переменные, используемые при описании эталонных ситуаций, образуют множество ситуационных признаков.

Обобщенное состояние, совпадающее по набору системных характеристик и формату представления с эталонными ситуациями рассматриваемой сети, предъявляемое для сравнения с эталонными ситуациями в качестве входных данных, называется входной ситуацией.

В [9] рассматриваются сети, в качестве узлов которых используются обобщенные состояния, совпадающие по формату с эталонными ситуациями (чаще всего – непосредственно эталонные ситуации). Такая однородность эталонных ситуаций и узлов сети в ряде случаев ограничивает возможности применения нечетких ситуационных сетей. Проблемы возникают в том случае, когда в качестве результата принятия решений невозможно указать некоторую эталонную ситуацию или совпадающее с ней по формату обобщенное состояние. В результате возникает необходимость введения типа сетей, в которых эталонные ситуации и узлы сети различаются по формату.

1. Таким образом, по *тождественности узлов сети и эталонных ситуаций* можно выделить *явные сети (сети ситуаций)* и *косвенные сети (сети состояний)*.

В *явной сети (сети ситуаций)* в качестве узлов используются эталонные ситуации. Явная сеть применяется, когда наборы характеристик, используемых для анализа системы и для задания типовых ситуаций принятия решения, совпадают и представляются одинаковым образом. При этом есть возможность в качестве результатов применения управляющих решений указывать ситуации непосредственно.

В *косвенной сети (сети состояний)* в качестве узлов используются обобщенные состояния, не совпадающие с эталонными ситуациями по составу или способу представления системных характеристик. В этом случае сетевая

структура обобщенных состояний и набор эталонных ситуаций существуют в виде двух обобщенных структур. Роль эталонных ситуаций при этом сводится к обеспечению процесса построения сети за счет привязки обобщенных состояний к тем или иным ситуациям принятия управляющего решения. Характерным примером является случай, когда решение принимается на основе ряда обобщенных системных характеристик, но отсутствует адекватная модель непосредственного отображения результата решения на данное множество характеристик. Вместо этого имеется способ расчета характеристик более низкого уровня, на основе которых уже можно определить результирующую ситуацию.

2. По *способу построения ситуационной сети* можно выделить *статические и динамические сети*.

Статическая сеть формируется в виде графа до определения значений системных характеристик – исходных данных для конкретной задачи принятия решения. Данный тип сети применяется в случае, когда множество вариантов принятия решения является обозримым, сопоставимым с множеством узлов сети, не возникает затруднений в непосредственном указании переходов между узлами сети.

В случае построения *динамической сети* строится часть графовой структуры, начальным узлом которой является узел, ассоциированный с входными данными. Далее данный узел связывается переходами с узлами, соответствующими состояниям, в которые может перейти система в результате принятия управляющих решений. Затем после идентификации текущей ситуации процесс повторяется.

3. Дополнительные требования, накладываемые на ситуационную сеть в случае описания сложной организационно-технической системы, подразумевают способность использования сети в случае изменения структуры управляемой системы. До сих пор эти вопросы не рассматривались. Сети привязывались к конкретной структуре управляемой системы. Введение механизмов адаптации сети к изменению структуры управляемой системы позволяет говорить о новом типе сети – сети с гибким способом получения значений ситуационных признаков. Таким образом, по *способу адаптации* можно выделить типы ситуационных сетей с *жесткими и гибкими способами получения значений ситуационных признаков*.

Сети с жестким способом получения значений ситуационных признаков базируются на неизменном списке объектов и их характеристик. Применяются для систем, изменение структуры которых в обозримый период не происходит. В случае изменения структуры управляемой системы сеть приходится формировать заново полностью.

Для сетей с гибким способом получения значений ситуационных признаков структура ситуационных групп и способы получения значений, составляющих обобщенные состояния сети, таковы, что адаптация существующей сети к новым условиям не затрагивает сложившуюся структуру групп эталонных ситуаций. Можно предложить следующие разновидности сетей данного типа, соответствующих различным способам адаптации:

- *агрегирующие сети*, в которых ситуации задаются только на основе укрупненных системных характеристик, агрегирующих характеристик отдельных объектов; характерны для задач, в которых масштаб принятия решений – система в целом;

- *типизированные сети*, в которых ситуации задаются относительно «некоторого экземпляра определенного типа объектов» и «примеряются» под каждый объект соответствующего типа; характерны для задач, когда масштаб принятия решения – управляемый объект, входящий в систему;

- *сети*, представляющие собой сочетание двух предыдущих разновидностей; являются в общем случае – типизированными, но для некоторых объектов, состоящих из заранее неизвестного числа менее сложных объектов, ситуации формируются на основе агрегированных характеристик.

4. Как было ранее отмечено, переходы сети соответствуют управляющим решениям. В существующих моделях ситуационных сетей переход, соответствующий управляемому решению, соединяет исходный узел и единственный результирующий узел. Однако результаты применения управляющих решений могут быть как детерминированными, так и случайными. Поэтому возникает необходимость введения случайных переходов в сети, что приводит к введению нового типа ситуационных сетей. Таким образом, по характеру переходов (результатов управляющих решений) можно выделить *сети с полностью управляемыми переходами* и *вероятностные (стохастические) сети*.

Сети с полностью управляемыми переходами – сети, для которых результаты управляющих решений детерминированы, переходы управляемы, а описание возможности результата исчерпывается его нечеткостью.

Вероятностные (стохастические) сети (сети нового типа) характеризуются тем, что, в переходах, помимо управляемой, присутствует и случайная составляющая, а результаты применения управляющих решений носят событийный характер. При этом некоторое управляющее решение ставит в соответствие текущей ситуации совокупность результирующих ситуаций.

5. Вследствие сложности решаемых задач, эталонные ситуации должны обеспечивать одновременный учет большого числа характеристик/признаков, что превышает возможности эксперта, формирующего ситуации. Основной способ избежать «проклятия размерности» заключается в построении иерархии групп эталонных ситуаций, оперирующих небольшим набором признаков. При этом управляющие решения могут соответствовать как единственной группе эталонных ситуаций, так и нескольким. Таким образом, в зависимости от иерархии групп эталонных ситуаций можно выделить *простые и иерархические сети*.

Простые (неиерархические) сети – сети, в которых применяется единственная группа эталонных ситуаций; используются в случае, когда удастся использовать обозримое множество признаков в рамках одной ситуационной группы.

Иерархические сети – сети, характеризующиеся иерархией групп эталонных ситуаций (несколькими группами признаков). В свою очередь, иерархические сети в зависимости от числа ситуационных групп верхнего уровня можно разделить на следующие разновидности:

- *одноаспектные сети*, в которых управляющие решения ассоциируются с одной группой эталонных ситуаций верхнего уровня иерархии; при этом результаты анализа групп нижнего уровня используются группами верхнего уровня;

- *многоаспектные сети*, в которых управляющие решения ассоциируются с несколькими ситуационными группами верхнего уровня иерархии; применяются в случае, когда можно выделить относительно независимые аспекты функционирования управляемой системы.

3. Требования, предъявляемые к НСС

Определим тип НСС, исходя из наиболее жесткого списка требований, предъявляемых задачами поддержки принятия решений при оперативном управлении сложными организационно-техническими системами. Такие свойства рассматриваемого класса задач как наличие типовых сценариев развития обстановки, возможность описания типовых ситуаций принятия решения в виде событий обстановки, качественный характер данных описаний, позволяют говорить о применимости нечеткого ситуационного подхода и принципиальной возможности построения НСС.

Определим основные характеристики проектируемой ситуационной сети.

Практическая невозможность дать обзорную картину всех типовых ситуаций принятия решения в виде связной структуры не позволяет сформировать статическую НСС, что диктует необходимость использования динамической сети и определения способа ее построения.

Отсутствие же адекватных механизмов отображения типовых ситуаций принятия решения друг на друга приводит к необходимости построения косвенной сети, т.е. разделении собственности узлов сети и набора эталонных ситуаций.

Большое число характеристик, оказывающих влияние на процесс принятия решения в сочетании с ограниченными возможностями экспертов («проклятие размерности») определяет иерархическую организацию набора эталонных ситуаций в виде частных наборов, оперирующих меньшим количеством признаков. При этом разделение управляющих решений по функциональным аспектам позволяет построить многоаспектную иерархию групп эталонных ситуаций, привязывая решения по каждому отдельному аспекту к отдельной ситуационной группе.

Непостоянство состава управляемой системы подразумевает наличие механизма адаптации НСС к данным изменениям. Типовые ситуации принятия решений, как правило, описываются или для структурных подразделений или их групп, объединенных общим пространственным положением или решаемой задачей. Признаками ситуаций при этом служат свойства не только самих подразделений, но и других объектов, связанных с ними некоторыми отношениями (например, оснащенность ремонтной бригады, обслуживающей структур-

ное подразделение, загрузка ближайших складов). В результате по способу адаптации к изменению структуры управляемой системы, сеть должна сочетать черты типизированной и агрегирующей сетей. Таким образом, должна существовать возможность задания ситуаций относительно абстрактных объектов некоторых типов как на основе простого учета их свойств и свойств, связанных с ними объектов, так и на основе агрегирования однотипных характеристик объектов более мелкого уровня.

Далее каждое частное решение по какому-либо одному функциональному аспекту рассмотрения системы относительно какого-либо единичного объекта воздействия будем называть действием над данным объектом. Тогда как управляющим решением будем называть такой набор действий, относящихся к одному и тому же моменту времени, в котором каждому управляемому объекту по каждому функциональному аспекту (относительно которого может быть рассмотрен данный объект) будет сопоставлено ровно одно действие (включая тривиальное пустое действие).

Такие свойства рассматриваемых задач как уникальность каждого конкретного условия задачи принятия решения, наличие как качественной, так и вероятностной (стохастической) неопределенности и необходимость учета всех последствий принимаемых решений приводят к необходимости введения неуправляемых составляющих в переходы сети.

Таким образом, для адекватного и эффективного представления предметной области в задаче планирования и принятия решения при оперативном управлении требуется создание наиболее сложного (в соответствии с предложенной классификацией) типа ситуационной сети: нечеткой, косвенной, динамической, вероятностной, типизированной сети, использующей многовершинную иерархию эталонных ситуаций. Далее предлагается вариант модели нечеткой ситуационной сети, обладающей перечисленными классификационными свойствами – нечеткая иерархическая ситуационно-событийная сеть (НИССС).

4. Определение НИССС

Нечеткой иерархической ситуационно-событийной сетью называется семерка $\langle W, AG, VRes, A, O, S, ID \rangle$.

Здесь $W = \{w_1, w_2, \dots, w_{N_w}\}$ – множество узлов сети, характеризующихся тройками вида:

$$w_k = (u_k, t_k, P_k), k \in [1, N_w], t_k \in [0, T_G]$$

где u_k – состояние управляемой системы в момент времени t_k – момент времени, к которому отнесено состояние, P_k – нечеткая вероятность нахождения системы в состоянии u_k в момент времени t_k . Время рассматривается как дискретная величина в пределах от нуля до глубины моделирования T_G , с шагом дискретизации Δt .

$AG = \{Ags_1, Ags_2, \dots, Ags_{N_{ag}}\}$ – множество управляющих решений, каждое из которых характеризуется набором пар действие – объект приложения:

$$Ags_d = ((a_1^d, o_1), \dots, (a_j^d, o_j), \dots, (a_{N_{ags}}^d, o_{N_{ags}})),$$

$$d \in [1, N_{ag}], j = \overline{1, N_{ags}}, a_j^d \in A, o_j \in O$$

где $O = \{o_1, o_2, \dots, o_{N_o}\}$ – множество объектов, составляющих управляемую систему; $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{N_a}\}$ – множество действий. При этом множество действий разбивается по функциональным аспектам управления:

$$A = \bigcup_{v=1}^V A^v, A^v = \{a_1^v, a_2^v, \dots, a_{N_{av}}^v\}$$

Каждое действие описывается лингвистической лотереей – набором пар исход – нечеткая вероятность, где исходы – результат применения действия:

$$a_g^v = \{(Res_e, Prob_e)\}, e = \overline{1, N_{res_g}}$$

На основе лотерей, описывающих каждое действие, входящее в решение, составляется лотерея, описывающая результат применения решения в целом:

$$Ags_d : VRes^d = \{(Res_m^d, Prob_m^d)\} \in VRes,$$

$$d \in [1, N_{ag}], m = \overline{1, N_{VResd}}.$$

Каждая конкретная пара исход – вероятность в свою очередь определяет один из результирующих узлов управляющего решения:

$$(VRes_m^d, VProb_m^d) : w_k = (u_k, t_k, P_k) \rightarrow w_h = (u_h, t_h, P_h),$$

$$d \in [1, N_{ag}], m = \overline{1, N_{VResd}}, k, h \in [1, N_w],$$

$$t_k \in [0, T_G - 1], t_h = t_k + 1.$$

Привязка состояний к управляющим решениям проводится за счет множества эталонных ситуаций $S = \bigcup_{r=1}^{N_s} S^r, S^r = \{s_1^r, s_2^r, \dots, s_{N_{sr}}^r\}$, которое

делится на множество основных ситуаций $S_{осн}^v$ и множество вспомогательных ситуаций $S_{всп}^l$, разбитых на группы в соответствии с иерархией ситуационных признаков: $S = \bigcup_{v=1}^V S_{осн}^v \cup \bigcup_{l=1}^L S_{всп}^l$. Каж-

дой основной группе (группы верхнего уровня иерархии) ситуаций соответствует множество действий по некоторому функциональному аспекту управления, а каждой ситуации – подмножество таких действий:

$$\begin{aligned} S_{осн}^v &\leftrightarrow A^v, v \in [1, V], \\ S_{осн,q}^v &\leftrightarrow A_q^v \subseteq A^v, v \in [1, V], q \in [1, N_{Sv}] \end{aligned} \quad (1)$$

И, наконец, ID – способ адаптации НИССС к изменениям состава управляемой системы – обеспечивает привязку эталонных ситуаций текущему состоянию и в итоге формирует множество допустимых управляющих решений для данного состояния:

$$ID : (S, u_k) \rightarrow AG' \subseteq AG$$

Уточним понятия, ситуации, события и время в модели НИССС. Время в модели представлено набором дискретных значений $\{0, t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, T_G\}$, заданных с равномерным шагом Δt . Переход от любого родительского узла w_i сети к результирующему w_h по направленной дуге, соответствующей какому-либо исходу некоторого управляющего решения, означает одновременно и переход к следующему моменту времени: $t_h = t_i + \Delta t$. В результате сеть представляет собой однонаправленное дерево, в котором дуги направлены от родительских узлов к дочерним, а каждый ярус соответствует шагу системного времени.

Под событием будем понимать возможное нахождение управляемой системы в момент времени t_i в состоянии u_i с вероятностью P_i , соответствующими узлу сети $w_i = (u_i, t_i, P_i)$.

Под ситуациями понимаются описания типовых условий принятия тех или иных решений, в виде наборов эталонных ситуаций. Они имеют свою структуру признаков и не совпадают по виду с состояниями управляемой сис-

темы. Также рассматриваются входные ситуации, формируемые на основе анализируемого состояния управляемой системы, описывающие текущие условия принятия решения в виде, пригодном для сравнения с эталонными ситуациями.

5. Объектно-ориентированное представление предметной области

Описания узлов и переходов сети, способ адаптации, а также описания эталонных ситуаций основываются на предложенной объектной модели предметной области, характеризующей управляемую систему в виде совокупности объектов – экземпляров классов и отношений между ними.

Имеется некоторое множество классов объектов системы $C = \{c_1, c_2, \dots, c_{N_c}\}$. Каждый класс C_i характеризуется набором атрибутов, ему соответствует подмножество объектов, обладающих перечисленными атрибутами – $O_i = \{o_1^i, o_2^i, \dots, o_{N_i}^i\}$. Состояние объекта характеризуется набором значений его атрибутов, отнесенных к указателю на объект: $\bar{P}(o_j^i) = (\bar{P} \wedge o_j^i) = ((p_1^i, p_2^i, \dots, p_{N_{P_i}}^i) \wedge o_j^i)$.

Примечание: Здесь знаком « $\wedge$ » обозначается приписывание вектора состояния $\bar{P}$ объекту o_j^i .

Состояние управляемой системы характеризуется набором значений атрибутов всех ее объектов:

$$\bar{U} = \bigcup_{o_j^i \in O} \bar{P}(o_j^i) = (\bar{P}_1^1 \wedge o_1^{N_1}, \dots, \bar{P}_{N_1}^1 \wedge o_1^{N_1}, \dots, \bar{P}_1^{N_c} \wedge o_1^{N_c}, \dots, \bar{P}_{N_{N_c}}^{N_c} \wedge o_{N_{N_c}}^{N_c})$$

Здесь $\bigcup$ – операция соединения состояний

объектов из множества O в порядке, соответствующем уникальным, в пределах модели, индексам объектов. При формировании узла сети, состояние управляемой системы дополняется значением времени, к которому оно отнесено (при этом для времени создается формальный объект T с единственным атрибутом t): $\bar{U}^i = U \bigcup (t/T)$.

В одну группу S^v объединяются эталонные ситуации, базирующиеся на одном и том же множестве признаков $Y^v = \{y_1, y_2, \dots, y_p\}$. Каждый признак представлен лингвистической переменной: $y_p : \langle y_p, T_p, D_p \rangle$, $T_p = \{T_1^p, T_2^p, \dots, T_{m_i}^p\}$, $\tilde{T}_j^p = \left\{ \left\langle \mu_{T_j^p}(d) / d \right\rangle, d \in D_p \right\}$.

Нечеткие ситуации задаются подобно правилам нечеткого логического вывода: т.е. путем указания какого-либо нечеткого значения для каждого признака. Полученный набор нечетких значений и образует эталонную ситуацию. При этом эксперту необходимо задать только P значений:

$$\tilde{s} = \left\{ \left\langle T_p^p / y_p \right\rangle \right\}, p = \overline{1, P}, \quad (2)$$

где $T_p^i \in T_i$ – эталонное нечеткое значение, указанное для признака y_i и принадлежащее его терм-множеству.

Входная нечеткая ситуация будет несколько отличаться от эталонной:

$$\tilde{s} = \left\{ \left\langle \tilde{T}_p^p / y_p \right\rangle \right\}, p = \overline{1, P}. \quad (3)$$

Здесь $\tilde{T}_p^p$ является в общем случае не членом исходного терм-множества соответствующей лингвистической переменной, а некоторым произвольным нечетким значением той же переменной на ее базовом множестве.

Каждая группа эталонных ситуаций формулируется относительно абстрактного объекта некоторого класса c_i и может быть рассмотрена в контексте любого объекта указанного класса.

При идентификации входного состояния относительно некоторой группы эталонных ситуаций, значения ситуационных признаков формируются как результат расчета функций:

$$\tilde{s}_{ex}^v = \left\{ \left\langle \tilde{T}_{ex}^p = f_p^v(\bar{P}(VR(R^v, o))) / y_p \right\rangle \right\}, \quad (4)$$

$$y_p \in Y^v.$$

Аргументами функций являются свойства объекта, в контексте которого происходит рассмотрение – $o' \in O_i$, и объектов, $VR(R^v, o')$ связанных с ним важными для данной группы отношениями – $R^v = \{r^1, r^2, \dots, r^j, \dots, r^{N_v}\}$:

$$\overline{P}(VR(R^v, o')) = \frac{\overline{U}^t}{VR(R^v, o')}. \quad (5)$$

Здесь знаком деления обозначена операция проекции состояния множества объектов на его подмножество, выделяющая состояния объектов подмножества и записывающая их в порядке следования индексов.

Расчет результата выполнения того или иного действия также описывается функцией, изменяющей свойства рассматриваемого и связанных с ним объектов:

$$a_g^v = \{(Res_e, Prob_e)\}, e = 1, Nres_g : Res_e = f(\overline{P}(VR(R^v, o'))): \overline{P}(VR(R^v, o')) \rightarrow \overline{P}'(VR(R^v, o')).$$

Введенные операции проекции состояния системы на рассматриваемое множество объектов и соединения состояний объектов обеспечивают взаимодействие указанных функций в рамках единого вектора состояния системы.

6. Способ построения НИССС

Рассмотрим разработанный способ динамического построения нечеткой иерархической

ситуационно-событийной сети, представленный на Рис. 1.

После задания начальных условий, построение сети проводится циклически – выбирается текущий узел, относящийся к рассматриваемому моменту времени, производится идентификация соответствующего ему состояния относительно групп эталонных ситуаций. Пусть при идентификации входной ситуации $\tilde{s}_{ex}^v$ относительно ситуационной группы S^v в контексте некоторого объекта первичного типа o' сработало некоторое множество эталонных ситуаций S_c^v :

$$S_c^v(o') = \{\tilde{s}_k^v \in S^v \mid m(\tilde{s}_k^v, \tilde{s}_{ex}^v) \geq \alpha\}. \quad (6)$$

Для полученного множества сработавших ситуаций на основании (1) и (6) формируется множество действий относительно рассматриваемого объекта первичного типа, допустимых в каждой из ситуаций множества:

$$Ag(S^v, o') = \bigcap_{\tilde{s}_k^v \in S_c^v(o')} A_k^v. \quad (7)$$

Так определяются списки допустимых действий по каждому управляемому объекту по каждому аспекту управления и формируется общий список действий:

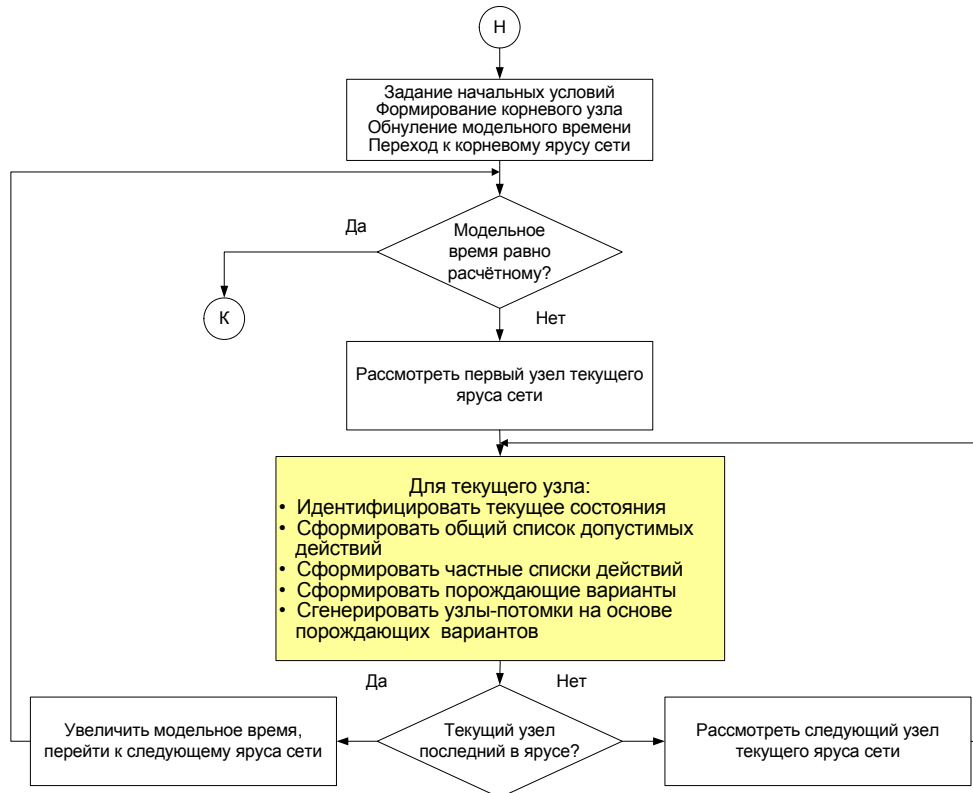


Рис. 1. Иллюстрация способа построения нечёткой иерархической ситуационно-событийной сети

$$Ag(\bar{U}^t) = (Ag(S^v, o_j^v) \subseteq A^v), (v = \overline{1; \bar{V}}, j = \overline{1, Nc_v}).$$

Далее происходит комбинация действий общего списка в частные, описывающие совокупные управляющие решения:

$$Ags(\bar{U}^t) = (ags_{K_{vj}}^v, Ag(S^v, o_j^v)), v = \overline{1; \bar{V}}, j = \overline{1; Nc_v}, K_{vj} \in \overline{1, |Ag(S^v, o_j^v)|}$$

Для каждого сочетания действий комбинируются вероятные исходы всех действий в порождающие варианты – списки исходов, где каждому объекту соответствует одна реализация действия:

$$Vres(\bar{U}^t) = ((Res_{G_{vj}}, Prob_{G_{vj}}), (Res_{G_{vj}}, Prob_{G_{vj}}) \in ags_{K_{vj}}^v, v = \overline{1; \bar{V}}, j = \overline{1; Nc_v}, K_{vj} \in \overline{1, |Ag(S^v, o_j^v)|}, G_{vj} \in \overline{1, |ags_{K_{vj}}^v|}.$$

Далее через каждый порождающий вариант генерируется новый узел сети, рассчитанный для следующего момента времени в соответствии с функциями, описывающими результаты применения действий.

В результате дуга перехода разбивается на два отрезка – управляемый (групповой) переход и неуправляемый (частный) переход. В результате такой группировки формируется фрагмент сети, представленный на Рис. 2.

Выполнение некоторого действия может занять несколько шагов, в течение которых функция результата будет определять значения атрибутов объектов. Данное обстоятельство требует введения времени начала выполнения действия t_0 относительно некоторого объекта первичного типа в качестве параметра функции результата. Соответственно для вычисления функции результата имеет значение не столько время начала действия, сколько время, прошедшее с начала действия до момента, для которого рассчитывается результат, т.е. $t' = t_r - t_0$, где t_r – момент времени, для которого рассчитывается значение функции результата.

Возможны следующие варианты.

1. Действие не может быть прервано (транзактное действие), имеет конечный срок выполнения $nt > 1$ (более одного шага), который еще не завершён $t < t_0 + nt$. В этом случае для момента времени t не проводится идентификация ситуаций группы S^v в контексте объекта o_j^v . А во всех порождающих вариантах $Vres(\bar{U}^t)$, вне зависимости от исходного частного списка действий для рассматриваемого

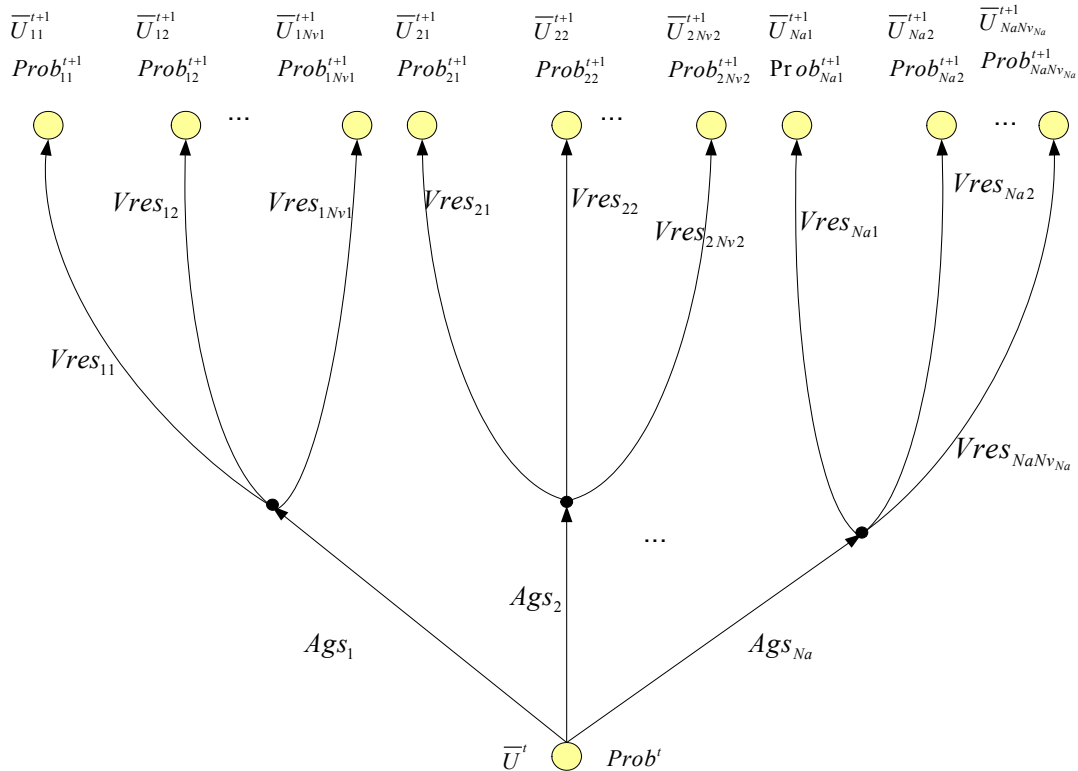


Рис. 2. Преобразованный фрагмент нечёткой иерархической ситуационно-событийной сети

объекта, указывается один и тот же вариант $Res_{G_{vj}}$ одного и того же действия $ags_{K_{vj}}^v$, причем вероятность данного варианта – вырожденная единичная нечеткая вероятность $Prob^E = \{1/1\}$

2. Действие уже завершено $t \geq t_0 + nt$. В этом случае идентификация ситуаций группы S^v относительно данного объекта, формирование для него списка разрешенных действий, и использование его при построении порождающих вариантов производится обычным порядком. Возможность прерывания действия в данном случае не имеет значения.

3. Действие не завершено $t < t_0 + nt$ (в общем случае для прерываемых действий время nt может не ограничиваться), может быть прервано. В данном случае обычным порядком формируется список разрешенных действий. Если получаем подтверждение продолжения выполнения действия, то порождающие варианты формируются, как и в 1-м случае. Если возникает необходимость в применении другого действия, то, как и во 2-м случае, использование частного списка действий проводится обычным порядком.

7. Вывод решений по НИССС

В соответствии с задачей формирования поливариантного сценария управления, результатом вывода решений по НИССС является такое поддерево сети, которое включает корневой узел, а для каждого узла, входящего в поддерево, включает только один групповой переход

[27]. В дерево включаются все узлы, порожденные из данного перехода. Пример НИССС, построенной на два шага моделирования, и подграфа вывода представлен на Рис. 3.

Посредством модели оценки состояний управляемой системы оцениваются узлы верхнего слоя сети. Управляющие решения оцениваются через оценки узлов, к которым они приводят, свернутые в соответствии с выбранной стратегией оценивания решений.

Предлагаются следующие варианты стратегий.

1. Пессимистическая стратегия: решение оценивается по наихудшей из оценок узлов, к которым оно приводит.

2. Оптимистическая стратегия: решение оценивается по наилучшей из оценок узлов, к которым оно приводит.

3. Стратегия уменьшения риска: решение оценивается по сумме нечетких вероятностей перехода в результирующие узлы с оценкой ниже порога.

4. Стратегия повышения вероятности выигрыша: решение оценивается по сумме нечетких вероятностей перехода в результирующие узлы с оценкой выше порога.

5. Взвешенная стратегия, усредняющая оценки результатов в соответствии с их вероятностями (аналог математического ожидания).

Максимальные оценки управляющих решений, исходящих из каждого узла, являются аргументами для оценивания переходов нижнего уровня. После того, как будут определены оценки переходов, исходящих из корневого узла, конструируется поддерево вывода, где для каждого узла выбирается групповой переход с

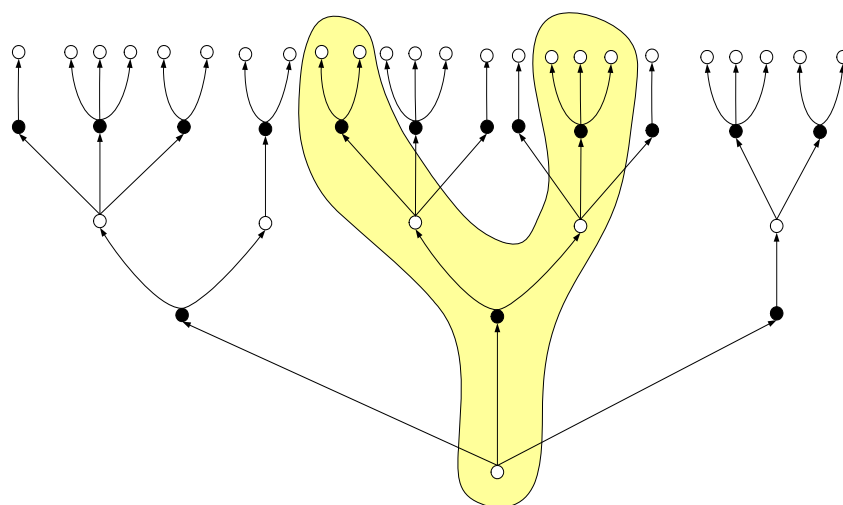


Рис. 3. Пример нечёткой иерархической ситуационно-событийной сети и подграфа вывода

максимальной оценкой. Произвольный подграф вывода оценивается по отклонению оценок выбранных переходов от максимальных.

В случае, когда возможно построение двух поддеревьев вывода с одинаковой оценкой, вводятся дополнительные критерии. Например, оцениваются узлы всех слоев сети, и в качестве оптимального принимается то поддерево вывода, оценки узлов которого превышают заданный порог, начиная с более раннего слоя. На Рис. 4 представлен вариант разрешения подобного конфликта, возникающего при применении пессимистической стратегии (задан пороговый уровень 0.5).

8. Структура базы знаний СППР

Применение НИССС как основы для построения СППР подразумевает наличие базы знаний, структура которой соответствует представлению знаний в модели.

В соответствии со структурой базы знаний, рассмотренной в [28], выделяют следующие типы знаний, каждый из которых подразумевает свои способы организации и управления.

1. Алгоритмическое (или процедурное знание) – алгоритмы (программы, процедуры), вычисляющие функции, выполняющие преобразования, решающие точно определенные конкретные задачи. В нашем случае это элементы алгоритмического ядра СППР – алго-

ритмы построения НИССС, вывода по ней, набор основных нечетких операций.

2. Концептуальное (понятийное) знание – представляет собой модель предметной области в виде совокупности понятий и связей между ними. Как правило, именно в данной составляющей формализуются экспертные знания. В [28] указывается, что понятийное знание не сводится только к модели предметной области. Там же выделяются подвиды данного знания – понятия (математические и нематематические) и правила (зависимости, законы, связи). В нашем случае к концептуальному знанию относятся:

- описание качественного состава управляемой системы (содержащее как понятия – классы, так и связи в виде отношений между классами и атрибутами – перекрестных ссылок);

- модель управления системой (связи, законы и правила), состоящую в совокупности эталонных ситуаций и управляющих действий.

3. Предметное знание – элементарные единицы знания, простые утверждения о характеристиках объектов (факты). Факты образуют рабочую память процесса вывода. Предметное знание в нашем случае представлено состояниями управляемой системы, общими и частными списками действий, порождающими вариантами и, в конечном счете, образует ситуационную сеть.

Общее управление всеми элементами осуществляется системой управления базой зна-

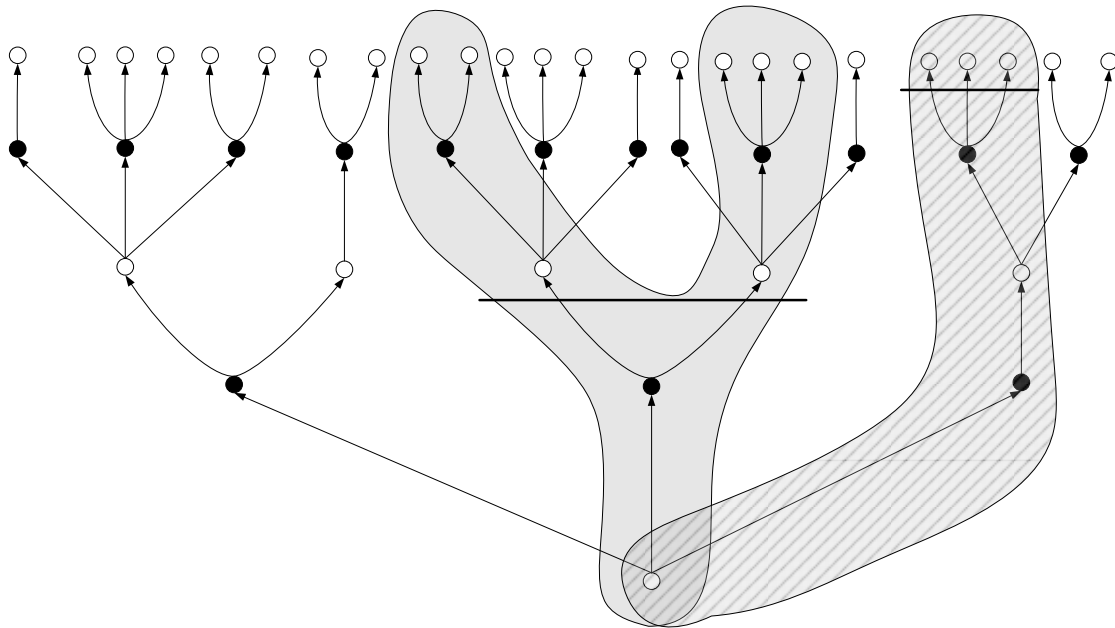


Рис. 4. Пример разрешения конфликтов при выводе по НИССС

ний. Основные элементы базы знаний СППР на основе НИССС представлены на Рис. 5. Для связей между элементами указаны роли, которые играют элементы по отношению друг к другу.

Рабочая память процессов построения и использования НИССС может быть реализована как средствами той же реляционной СУБД, что и концептуальная часть базы знаний. Однако с точки зрения быстродействия более эффективной видится ее программная реализация в виде структур и объектов оперативной памяти.

Заключение

Применение предложенной модели нечеткой иерархической ситуационно-событийной сети позволяет преодолеть ограничения существующего аппарата нечетких ситуационных сетей при решении задач планирования и оперативного управления сложными организационно-техническими системами. Это достигается за счет привлечения методов объектно-ориентированного подхода при описании предметной области, применения аппарата лин-

гвистических лотерей, разделения узлов сети и эталонных ситуаций, построения многовершинной иерархии групп эталонных ситуаций.

На основе предложенного подхода разработана СППР, предназначенная для планирования и оперативного управления сложной организационно-технической системой, позволяющая решать следующие задачи:

- составлять формализованное описание предметной области в соответствии с моделью знаний на основе НИССС,
- формировать модель оценки управляющих решений;
- осуществлять динамическое построение НИССС на заданную глубину моделирования;
- формировать сценарий управления на основе вывода по НИССС;
- сопровождать применение сценария управления и при необходимости его корректировать.

Представленные результаты использованы при разработке модельного обеспечения функциональной подсистемы обработки и анализа данных информационно-аналитической системы отраслевого энергопотребления и энергосбережения ФАО.

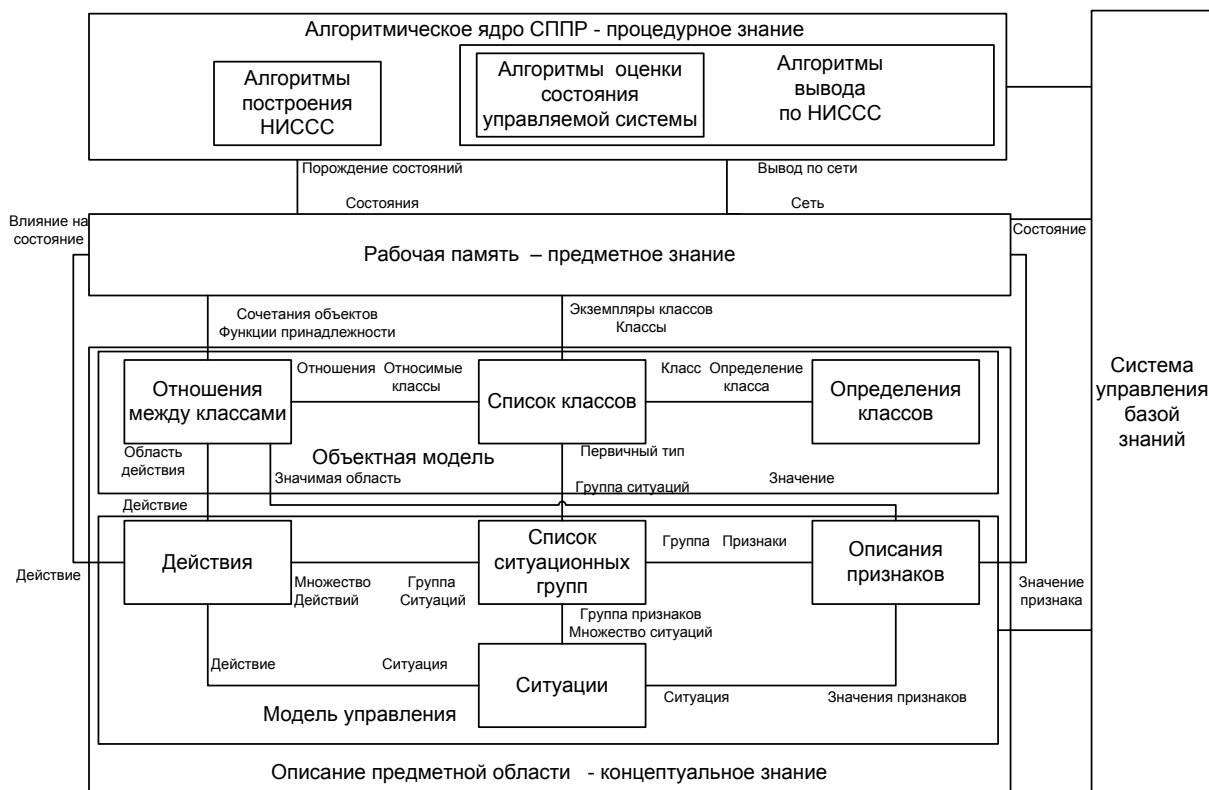


Рис. 5. Обобщенная структура базы знаний СППР на основе нечеткой иерархической ситуационно-событийной сети

Литература

1. Корнилович О. В. Организация процесса принятия стратегических решений в социально-экономических системах. Автореферат дисс. ... канд. эк. наук. С.-Пб.: 2006. – 20 с.
2. Варшавский П.Р. Методы и программные средства поиска решения на основе аналогий в интеллектуальных системах поддержки принятия решения. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. М.: 2005. – 20 с.
3. Еремеев А.П. Организация систем поддержки принятия решений семиотического типа для динамических проблемных областей // Сборник докладов Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям SCM'98. С.-Пб.: 1998 г. Т.2. – С. 215–218.
4. Осипов Г.С. Динамические модели и инструментальные программные средства, использующие экспертные и эмпирические знания. Труды 3-его расширенного семинара "Использование методов искусственного интеллекта и высокопроизводительных вычислений в аэрокосмических исследованиях." (АКИИ 03) Переславль-Залесский: 2003. – с.13–20.65
5. Силон В.В. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО-РЕС, 1995. – 228 с.
6. Букачев Д. С., Мунерман В. И. О принципах реализации виртуальных алгебраических машин. //Системы компьютерной математики и их приложения: Материалы международной конференции. – Смоленск, СмолГУ, 2006. – С. 55–56.
7. Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М. В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах/ Под ред. Вагина В.Н., Поспелова Д.А. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 704 с.
8. Емельченков Е. П., Мунерман В. И. Алгебраический подход к объектно-ориентированным базам данных // Математическая морфология. Электронный математический и медико-биологический журнал. – Т. 5. – Вып. 4. – 2006. Режим доступа к журн.: <http://www.smolensk.ru/user/sgma/MMORPH/TITL.HTM>.
9. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990. – 272 с.
10. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: Теория и практика. – М.: Наука.- Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 288 с
11. Прикладные нечеткие системы/ Под ред. Тэрано Т., Асаи К., Сугэно. М.: Мир, 1993. – 368 с.
12. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ, 1998. – 376 с.
13. McCarthy J. Hayes P. Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence. In B. Meltzer and D. Michie, editors. Machine Intelligence, Vol 4, pp. 463–502. Edinburgh University Press, 1969.
14. Лаптева Е. В. Разработка автоматизированной системы поддержки принятия решения при формировании индивидуальной траектории обучения. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. Респ. Казахстан, Алматы: 2007. – 17 с.
15. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний и информатике: Пер. с фр. М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
16. Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунцов Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. М., Физматлит. 2002. – 352 с.
17. Рынкевич С.А. Адаптивные системы управления АТС // Автомобильная промышленность. – №6 – 2005. – С. 36–38.
18. Федунцов Б.Е. Бортовые оперативно советующие экспертные системы тактических самолетов пятого поколения (обзор по материалам зарубежной печати). М.: НИЦ ГосНИИАС, 2002. – 127 с.
19. Федунцов Б.Е. Механизмы вывода в базе знаний бортовых оперативно советующих экспертных систем. // Изв. РАН. ТиСУ. – №4 – 2002. – С. 42–52.
20. Воронина О.А., Лобанова В.А. Совершенствование системы управления как основа решения проблемы экономии энергии на малых нефтеперерабатывающих заводах // Тезисы докладов V Международной научно-практической интернет-конференции “Энерго- и ресурсосбережение – XXI век”. Орел: 2007. – С. 57.
21. Егоров Валерий Анатольевич. Организация правоохранительной деятельности с использованием информационных технологий. Автореферат дисс. докт. юр. наук. Саратов, 2007. – 59 с.
22. Прохоренков А.М. Применение нечетких моделей в системах управления технологическими процессами. Тезисы докладов 11-й научно-технической конференции МГТУ. Мурманск: 2000. – С. 79.
23. Зернов М.М. Применение нечеткого ситуационного подхода при оперативном управлении сложными организационно-техническими системами // Тезисы докладов 14-й Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» том 1. М.: 2008. – С. 43.
24. Борисов А.Н., Алексеев А.В. Меркурьев Г.В. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
25. Еремеев А.П., Троицкий В.В. Методы представления временных зависимостей в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Изв. РАН. ТиСУ, 2003, № 5. – С. 75–88.
26. Троицкий А.В. Методы и программные средства представления временных зависимостей в интеллектуальных системах поддержки принятия решений. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. М., 2004. – 20 с.
27. Борисов В.В., Зернов М.М. Вывод на основе нечеткой ситуационной сети// Труды XI национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2008) том 1. Дубна: 2008. – С. 320–327.
28. Наумов А.Н., Вендров А.М., Иванов В.К. и др. Системы управления базами данных и знаний. М.: Финансы и статистика, 1991. – 352 с.

Борисов Вадим Владимирович. Профессор кафедры вычислительной техники филиала ГОУВПО «Московский энергетический институт (технический университет)» в г. Смоленске. Доктор технических наук, профессор. Научные интересы: ассоциативные среды и системы хранения и обработки информации, нейро-нечеткие сети и системы.

Зернов Михаил Михайлович. Преподаватель кафедры вычислительной техники филиала ГОУВПО «Московский энергетический институт (технический университет)» в г. Смоленске. Кандидат технических наук. Научные интересы: моделирование сложных систем, поддержка принятия решений, интеллектуальный анализ данных.