

ГИБРИДИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СЦЕНАРНО-ПРЕЦЕДЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Шерстюк В.Г.

Херсонский национальный технический университет

В статье рассмотрены вопросы интеграции подсистем вывода в гибридных динамических сценарно-прецедентных системах. Предложен подход к интеграции подсистем вывода по прецедентам на основе правил и на основе моделей, каждая из которых основана на собственном языке представления знаний. Интегрирующей основой предложенного подхода является использование комплементарных формализмов представления знаний – логического на основе правдоподобной дескрипционной логики и сетевого на основе правдоподобных древовидных сетей событий. Полученная в результате модель гибридной динамической сценарно-прецедентной системы позволяет осуществлять правдоподобный вывод на основе правил, прецедентов и моделей, формируя уместные решения для проблемных ситуаций в реальном времени.

Ключевые слова: сценарно-прецедентная система, хранилище прецедентов, древовидная сеть событий, правила вывода, модель, подсистема вывода, интеграция.

Введение. Динамические сценарно-прецедентные системы (ДСПС) поддержки принятия решений предназначены для решения трудноформализуемых задач в слабоструктурированных предметных областях [1]. Их предметные области, как правило, являются сложными динамическими системами (СДС).

Основным преимуществом сценарно-прецедентного подхода перед иными интеллектуальными методами поддержки принятия решений является их способность к интуитивно-эвристическому формированию множества возможных решений при отсутствии полной и адекватной теории предметной области, в том числе в условиях неполноты и неточности исходных знаний о ситуации.

Как показано в [2], в результате поиска прецедентов, подобных текущей (проблемной) ситуации, и производимого далее отбора уместных прецедентов, ДСПС формирует некоторое опорное (базовое) решение, представляющее собой каркасный план действий, решение, которое было использовано ранее для достижения аналогичной цели в некоторой подобной по описанию (опорной) ситуации, связанной с текущей ситуацией отношением сходства (но не эквивалентности).

Непосредственно использовать каркасный план для текущей проблемной ситуации не всегда представляется возможным из-за различия между контекстами опорной и текущей ситуации, что составляет основную проблему для интеллектуальных систем, основанных на прецедентах, решение, апробированное ранее в контексте опорной ситуации, необходимо адаптировать к контексту текущей ситуации. В то же время процесс адаптации решений в СДС представляет собой настолько серьезную проблему, что в некоторых прецедентных системах в силу сложности реализации попросту избегают фазы адаптации решений (нуль-адаптация) [3], следовательно, такие системы выполняют функцию поиска по прецедентам, но не рассуждений по прецедентам, что существенно ограничивает их применимость.

Другой существенной проблемой является ограничение, что методом вывода по прецедентам решение может быть найдено исключительно при условии наличия у ДСПС достаточной для поиска прецедентов накопленной компетенции, т.е. исчерпывающего множества прецедентов, что недостижимо в открытых динамических предметных областях.

Решение указанных проблем требует использования альтернативных формализмов и методов, имитирующих иные способы принятия решений [4]. В то же время, использование альтернативных методов, основанных на моделях или на правилах, требует наличия полной и адекватной теории предметной области, что нивелирует основное преимущество прецедентного подхода. Использование нелинейных методов, таких как генетические алгоритмы и нейронные сети, не представляется возможным из-за дефицита

времени на принятие решений в открытых динамических предметных областях.

Интеллектуальные системы, в которых для решения задачи используется более одного метода имитации интеллектуальной деятельности ЛПР, принято называть гибридными интеллектуальными системами [5]. Соответственно, гибридизация интеллектуальной системы понимается как процесс интеграции двух или более подсистем, каждая из которых может иметь различные языки представления и методы вывода, при этом подсистемы объединяются вместе семантически и взаимодействуют каждая с каждой [6].

Таким образом, процесс принятия решений в гибридной ДСПС должен рассматриваться с точки зрения взаимосвязи и взаимообусловленности процессов формирования решений на основе различных методов правдоподобного вывода.

Гибридизация ДСПС в конечном счете должна проявиться в синергетическом эффекте от интеграции различных по способу рассуждений подсистем, т.е. эффективность системы должна быть выше, чем каждой из подсистем по отдельности.

Цель данной статьи состоит в определении способов гибридизации сценарно-прецедентных систем и формирования интеграционной основы для реализации процессов поиска, адаптации и верификации решений в гибридной динамической сценарно-прецедентной системе.

Постановка задачи. В [2] представлена базовая модель ДСПС. В соответствии с [7], правдоподобный вывод в представленной модели ДСПС может производиться не только над прецедентами, но и над иными фрагментами знаний. Так, для представления совокупности прецедентов, накапливаемой в хранилище прецедентов (ХП), предложен формализм правдоподобных древовидных сетей событий (ПДСС), а также комплементарный ему логический формализм, основанный на использовании разрешимых расширений правдоподобной дескрипционной логики.

Известно также, что в ДСПС процесс поиска решений производится с использованием методов вывода по прецедентам, в то время как в процессе адаптации решений целесообразно использовать методы, основанные на правилах, а в процессе верификации решений – методы, основанные на моделях.

Таким образом, в данной работе необходимо рассмотреть вопросы, связанные с построением гибридной ДСПС, совмещающей принятие решений на основе прецедентов с адаптацией решений на системе правил и верификацией решений на модели, а также определением состава и взаимодействия ее подсистем.

Для этого необходимо:

- выявить состав необходимых в ДСПС подсистем;
- исследовать принципы интеграции подсистем в ДСПС;
- формализовать основу для реализации интеграционного механизма;
- построить формальное описание подсистем вывода на основе правил и моделей.

Основной материал исследования. Принятый способ представления знаний в ДСПС может составить интеграционную основу гибридизации ДСПС, необходимую для дальнейшей адаптации и верификации полученного базового решения. Интеграция может объединить подсистемы вывода на прецедентах, на правилах и на моделях [8].

Интеграционная основа динамических сценарно-прецедентных систем. Рассмотрим структуры знаний, используемые ДСПС в процессе функционирования [2]. Первый (нижний) уровень ХП составляет ПДСС G_1 , ассоциированная с моделью событий E и содержащая множество эталонных потоков событий. Второй уровень G_2 содержит ПДСС, представляющую таксономическую структуру контекстов ситуаций.

Важным свойством ПДСС является то, что его узлы \mathcal{U} могут представлять не только события или действия, но и другие концепты знаний в виде выражений на языке Λ , в то время как дуги ε , соединяющие узлы, выражают частично упорядоченные отношения и соответствуют ролям.

В процессе функционирования ДСПС могут встретиться проблемные ситуации s_i , для которых в ХП не содержится уместного прецедента. Поскольку решение обязательно должно быть сформировано и предложено ЛПР, независимо от наличия в ХП уместных прецедентов, в случае, если решение не может быть найдено по прецедентам, оно должно быть предложено иным способом.

Следовательно, ДСПС должна содержать, кроме подсистемы правдоподобного вывода по прецедентам, также и подсистемы вывода на основе других методов и принципов.

Определим для ДСПС четыре базовых фрагмента знаний (рис. 1):

- прецеденты (контексты ситуаций – кусты G_2 , решения – кусты G_1);
- предопределенные правила вывода (антецеденты заданы на множестве вершин G_2 , консеквенты – на множестве вершин и дуг $G_1 \cup G_2$);
- адаптационные правила вывода (антецеденты заданы на множестве вершин G_2 , консеквенты – на множестве вершин и дуг G_1);
- модели (математические, логические и т.д.).

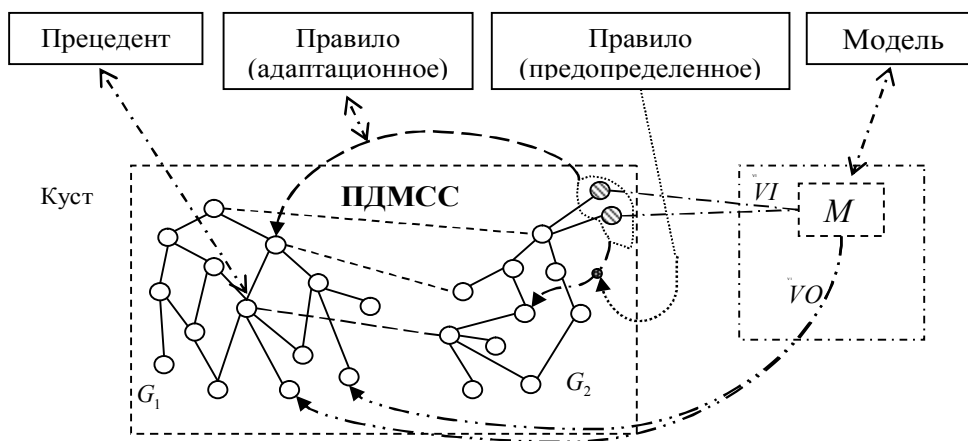


Рисунок 1 – Базовые фрагменты знаний динамической сценарно-прецедентной системы

Соответственно, в структуре ДСПС необходимо выделить (рис. 2):

- 1) подсистему, основанную на прецедентах;
- 2) подсистему, основанную на правилах;
- 3) подсистему, основанную на моделях, из которых первая является основой, а последние две – дополнением.

Подсистема вывода, основанная на правилах. Предопределенные правила описывают предметную область D и формируются экспертами на ситуационно-событийном языке Λ на стадии разработки ДСПС или в процессе ее функционирования (в процессе обновления и пополнения ХП).

Адаптационные правила описывают зависимости конкретных целевых вершин ПДСС G_1 от условий контекста, представленного в ПДСС G_2 , и формируются, главным образом, путем самообучения ДСПС.

Пусть язык представления знаний Λ состоит из языка описания проблем (состояний и ситуаций) $\Lambda_s \subset \Lambda$ и языка описания решений (планов, сценариев и действий) $\Lambda_r \subset \Lambda$, так что $\Lambda = \Lambda_s \cup \Lambda_r$. Очевидно, что $\Lambda_s \mapsto G_2$, $\Lambda_r \mapsto G_1$.

Правилом Z будем называть фрагмент знаний, выраженных на языке Λ , состоящий из условия (антецедента) $X \in \Lambda_s$ и действия (консеквента) $Y \in \Lambda_r$ и имеющий вид $X \Rightarrow Y$. Правило Z выражает смысл «если истинно X , выполнить Y ».

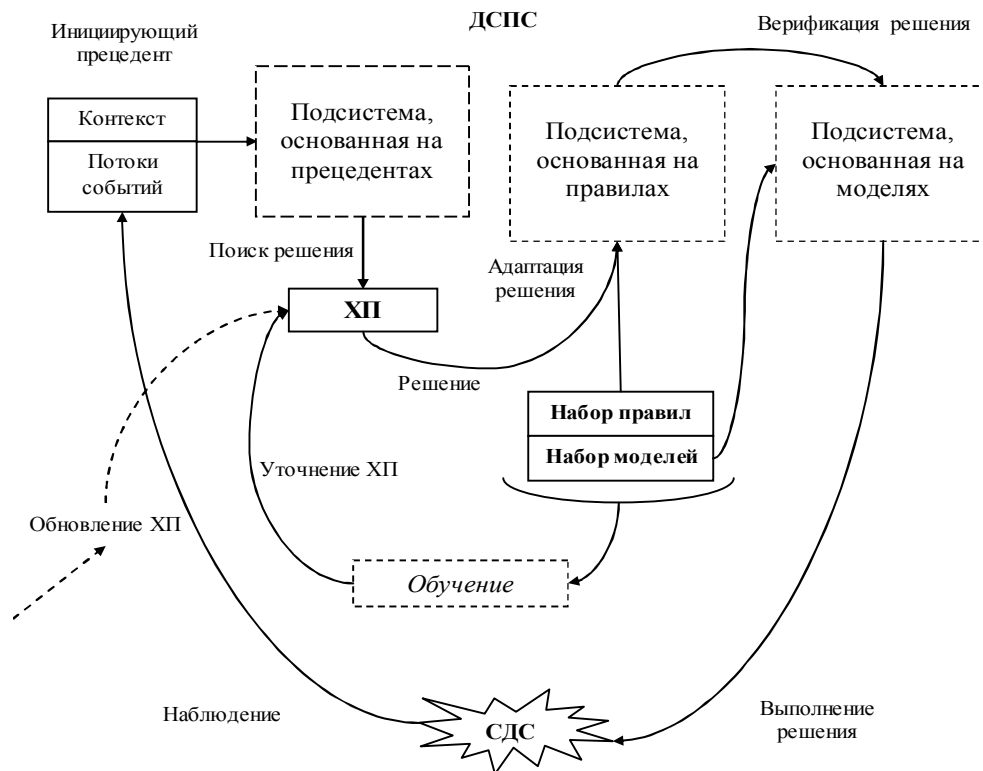


Рисунок 2 – Структура ДСПС

Антецедент X (а также и консеквент Y) может быть представлен в конъюнктивной нормальной форме, т.е. в виде конъюнкции негативных нормальных форм, образованных из формул $\phi_i \in \Lambda_s$ (соотв. $\phi_i \in \Lambda_r$):

$$\forall \phi_i \quad \sim \phi_i = \phi_i | \neg \phi_i, \quad X = \sim \phi_i \wedge \square \phi_j \wedge \dots \wedge \square \phi_m \quad (Y = \sim \phi_k \wedge \square \phi_l \wedge \dots \wedge \square \phi_n).$$

Известно [9], что накопление значительного числа правил приводит к возникновению противоречий. Для того, чтобы избежать противоречивости, правила Z привяжем к тем вершинам $V_i \in \mathcal{G}$ ПДСС, концепты которых включены в условие правила X .

Привязка правил к вершинам ПДСС составляет эвристику, основанную на том, что правило Z может быть активировано лишь в ситуации, описываемой с помощью конъюнкции концептов, составляющей условие X .

Принцип и методы функционирования интеллектуальных систем, основанных на правилах (продукционных систем), представлены в [10].

Подсистема продукционного вывода работает в четыре фазы:

- фаза сопоставления: производится поиск множества правил, условия которых совпадают с образцом – описанием проблемной ситуации s_I . В результате формируется так называемое конфликтное множество (допустимых правил);
- фаза разрешения конфликта: используя назначаемые приоритеты и эвристики, из конфликтного множества выбирается непротиворечивое подмножество выполняемых правил;
- фаза выполнения: последовательно выполняются правые части правил, составляющих подмножество выполняемых правил.
- фаза сохранения: в результате выполнения некоторые структуры знаний могут изменяться, например, описание проблемной ситуации. Все изменения переносятся в БЗ для последующего использования.

Благодаря использованию эвристики привязки правил к вершинам, фаза

сопоставления становится неостребованной: в результате того, что вывод на ПДСС приводит к некоторой целевой вершине $V_i \in \mathcal{G}$, множество допустимых правил ограничиваются лишь теми правилами, которые лежат в вершинах ПДСС $V_j \in \mathcal{G}$, достижимых с помощью дуг $E_z \in \mathcal{E}$, таких, что $E_z(V_i, V_j)$ (т.е. теми правилами, в которых $X = V_i$).

Использование отношения релевантности [7] для установления связи между целевыми вершинами ПДСС G_1 и контекстами ситуаций, хранимыми в ПДСС G_2 , позволяет упорядочить (ранжировать) связи между целевыми вершинами и множествами правил, заданных на них.

Таким образом, фаза разрешения конфликтов становится неостребованной, т.к. правила, относящиеся к вершине $V_i \in \mathcal{G}$, в каждый момент времени ранжированы по оценке их релевантности. Соответственно, подсистема вывода ДСПС на основе правил может функционировать в три фазы (рис. 3): выборки, выполнения и сохранения на основе алгоритмов, представленных в [10].

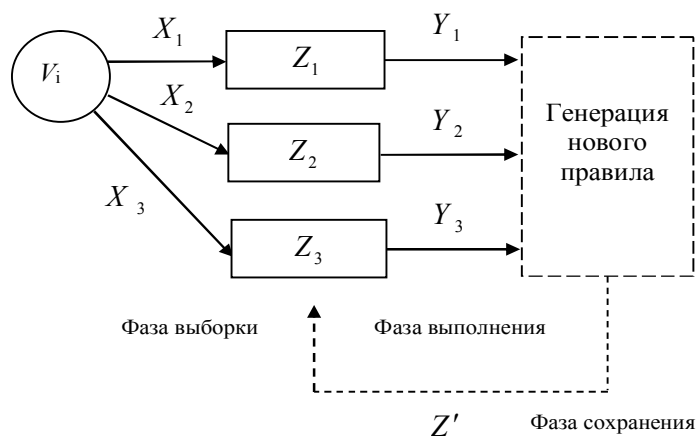


Рисунок 3 – Подсистема вывода на основе правил

Подсистема вывода на основе моделей. Понятие модели в ДСПС может быть абстрагировано до понятия функции [11].

Модель M представляет собой «черный ящик», получающий на входе множество входных переменных VI , выполняющий за конечное время τ над ними некоторые преобразования, и на выходе выдающий результат в виде выходных переменных VO . Функциональность модели M может быть задана в аналитической, численной, логической форме и реализована в виде процедуры:

$$f_M(vI)^\tau = vO,$$

где $vI = VI$ – множество входных параметров; $vO = VO$ – множество выходных параметров.

Если «черный ящик» допускает наличие состояний, модель может интерпретироваться автоматом. Если одним из параметров является параметр времени, модель является динамической.

Подсистема вывода на основе модели (рис. 4) функционирует в три фазы:

- фаза инициирования сопоставляет каждому из входных параметров vI процедуры f_M соответствующей входной переменной VI модели M ;
- фаза выхода через промежуток времени τ через выходные параметры vO процедуры f_M возвращены выходные переменные VO модели M .

– фаза сохранения определяет необходимость внесения изменений в описание проблемы и при необходимости сохраняет их.

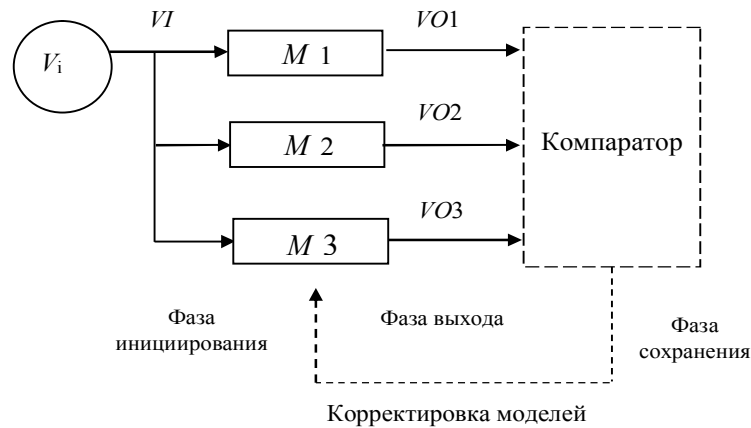


Рисунок 4 – Подсистема вывода на основе моделей

Для вызова процедур моделирования f_M в процессе функционирования ДСПС язык Λ необходимо дополнить оператором $\langle \rangle$, имеющим форму

$$\langle f_M : VI_1, \dots, VI_n [t, \tau] \rangle : VO_1, \dots, VO_m,$$

где VI_i – входные переменные, VO_j – выходные переменные, $\{VI_1, \dots, VI_n, VO_1, \dots, VO_m\} \subseteq P \in \Lambda$, $f_M \in O$ – имя модели, $t \in T$ – момент времени запуска модели, $\tau \in T$ – время преобразования в модели множества входов во множество выходов, $O, T \in \Lambda$.

Выполнение данного оператора приводит к запуску модели в момент времени t с установленными входными параметрами $\{VI_1, \dots, VI_n\}$ и возврату в момент времени $t + \tau$ значений выходных параметров $\{VO_1, \dots, VO_m\}$.

Реализация гибридной динамической сценарно-прецедентной системы. Программной реализацией методологии синтеза динамических сценарно-прецедентных систем является система «Муссон» [12], выполненная в среде Windows с использованием языка программирования Visual C++, и представляет собой универсальный каркас (framework) для разработки ядра ДСПС.

ДСПС «Муссон» принимает на входе поток событий, представленных в виде правильно построенных формул ситуационно-событийного языка $\Lambda(s) \in \Lambda$, на выходе формируется план решения Π в формате $\Lambda(r) \in \Lambda$ (рис. 5).

Обмен информацией осуществляется приемом-передачей сообщений в формате xml. В качестве накопителя прецедентов может использоваться источник данных, доступный через стандартные коннекторы ADO и XML, например, Microsoft SQL Server.

Структура системы «Муссон» показана на рис. 6.

ДСПС включает:

- базу знаний;
- процессы, реализующие цикл функционирования (поиска, адаптации, верификации);
- процессы обратной связи (обучения и накопления);
- средства визуального интерфейса разработчика;
- внешний интерфейс к модели совместной активности;
- внешний интерфейс к накопителю прецедентов.

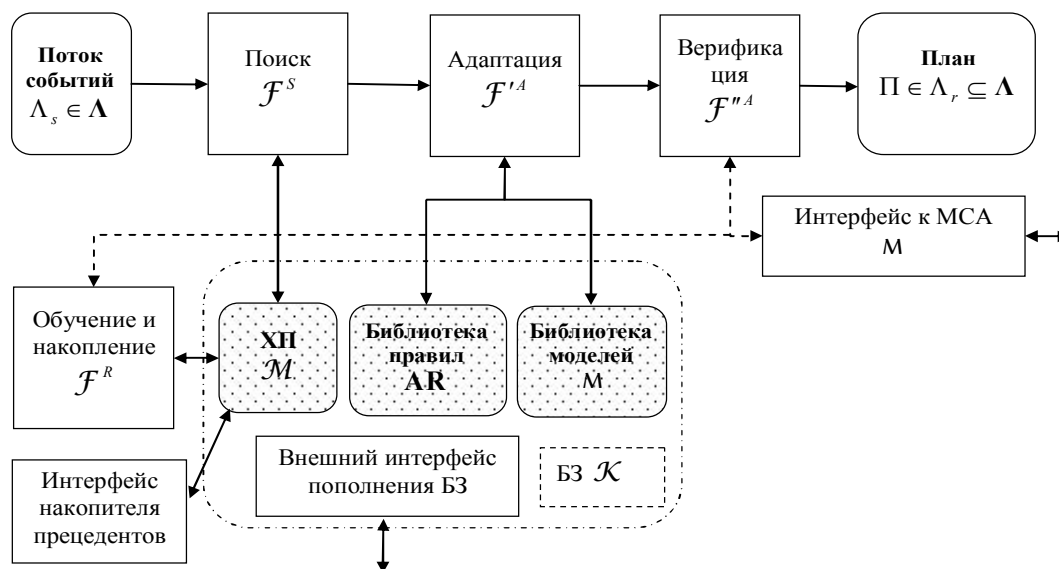


Рисунок 5 – Организация ДСПС «Муссон»

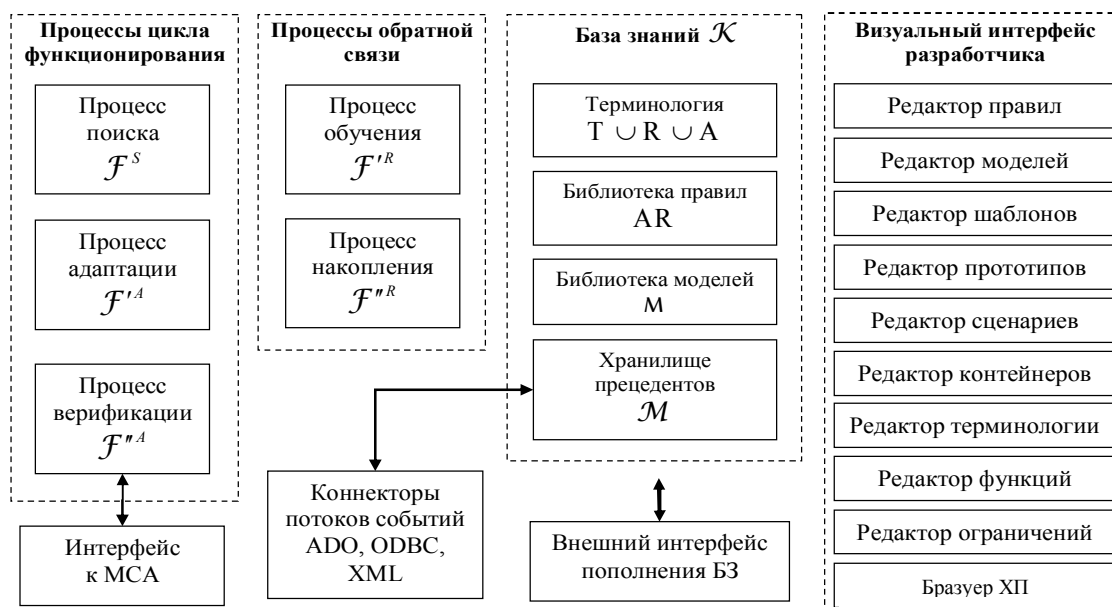


Рисунок 6 – Структура ДСПС «Муссон»

Процессы поиска решений F^S , адаптации и верификации решений F^A , обучения и накопления прецедентов F^R выполнены в соответствии с моделью [2, 3] и взаимодействуют с помощью сообщений.

База знаний позволяет работать со знаниями о предметной области (терминологией), представленными в виде концептов и ролей ПДЛ ($ABox$, $TBox$, $RBox$), прецедентами в ХП M , адаптационными правилами в библиотеке правил AR , моделями в библиотеке моделей M .

Хранилище прецедентов M представляет собой срез содержимого накопителя прецедентов, соответствующий пространственно-временным ограничениям предметной области и проиндексированный в соответствии с контекстом проблемной ситуации.

Средства визуального интерфейса разработчика позволяют на этапе конфигурации ДСПС задать ряд важнейших ее свойств, в частности описать структуру (шаблон) контекста прецедента, структуру (прототип) решения прецедента, задать используемые функции подобию и оценки уместности, настроить ряд параметров цикла вывода ДСПС.

Основные результаты и выводы. Представленный подход к построению гибридных динамических сценарно-прецедентных систем позволяет совместить подсистемы правдоподобного вывода на основе прецедентов, правил и моделей. Интегрирующей основой данного подхода является использование двух комплементарных формализмов представления знаний – логического на основе правдоподобной дескрипционной логики и сетевого на основе правдоподобных древовидных сетей событий, что дает возможность реализации хранилища прецедентов в виде многоуровневой древовидной сети событий, а над элементами знаний, представляющими вершины, дуги и кусты данной сети, организовать правдоподобный вывод на основе правил, прецедентов и моделей.

Предложенный в данной работе подход позволяет учесть специфику открытых динамических предметных областей и обеспечивает работоспособность сценарно-прецедентного подхода без необходимости построения полных и адекватных теорий (моделей) предметной области. Эффективность предложенного подхода позволяет обеспечить функционирование гибридной ДСПС в реальном времени, а значительное усложнение ее структуры компенсируется возможностью автоматической подготовки множества уместных решений для ЛППР в режиме реального времени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика / Д. А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
2. Шерстюк В. Г. Сценарно-прецедентное управление эргатическими динамическими объектами / В. Г. Шерстюк. – Saarbrücken, Deutschland : Lambert Academic Publishing, 2013. – 407 p.
3. Muñoz-Avila, H. Case-Based Plan Adaptation: An Analysis and Review / H. Muñoz-Avila, M. T. Cox // IEEE Intelligent Systems. – 2008. – Vol. 23. – №4. – P.75-81.
4. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – М. : Вильямс, 2006. – 1408 с.
5. Гаврилов А. Гибридные интеллектуальные системы / А. В. Гаврилов. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2003. – 168 с.
6. Колесников А. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / А. В. Колесников, И. А. Кириков. – М. : ИПИ РАН, 2007. – 387 с.
7. Шерстюк В. Основы теории динамических сценарно-прецедентных интеллектуальных систем / В. Г. Шерстюк. – Херсон : Феникс, 2012. – 476 с.
8. Castillo O. Hybrid Intelligent Systems: Analysis and Design / O. Castillo, P. Melin. – London : Springer-Verlag, 2006. – 433 p.
9. Поспелов И. Динамическое описание систем продукции и проверка непротиворечивости производственных экспертных систем / И. Г. Поспелов, Л. Я. Поспелова // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1987. – № 1. – С.184-192.
10. Джексон П. Введение в экспертные системы / П. Джексон. – М. : Вильямс. – 2001. – 624 с.
11. Ездаков А. Экспертные системы, основанные на моделях / А. Л. Ездаков // Оборонный комплекс научно-техническому прогрессу России. – 2008. – № 3. – С. 24-28.
12. Шерстюк, В. Динамический отбор прецедентов в интеллектуальной системе «Муссон» / В. Г. Шерстюк // Искусственный интеллект. – 2012. – №4. – С. 392-403.

REFERENCES

1. Pospelov D. A. Situacionnoe upravlenie: teoriya i praktika / D. A. Pospelov. – M.: Nauka, 1986. – 288 s.
2. Sherstyuk V. G. Scenarno-precedentnoe upravlenie ehrgaticheskimi dinamicheskimi

objektami / V. G. Sherstyuk. – Saarbrucken, Deutschland : Lambert Academic Publishing, 2013. – 407 p.

3. Munoz-Avila, H. Case-Based Plan Adaptation: An Analysis and Review / H. Munoz-Avila, M. T. Cox // IEEE Intelligent Systems. – 2008. – Vol. 23. – № 4. – P.75-81.

4. Rassel S. Iskusstvenniy intellekt: sovremenniy podkhod / S. Rassel, P. Norvig. – M. : Viljams, 2006. – 1408 s.

5. Gavrilov A. Gibridnihe intelektualjnihe sistemih / A. V. Gavrilov. – Novosibirsk : Izd-vo NGTU, 2003. – 168 s.

6. Kolesnikov A. Metodologiya i tekhnologiya resheniya slozhnikh zadach metodami funkcionalnikh gibridnikh intelektualnikh sistem / A. V. Kolesnikov, I. A. Kirikov. – M. : IPI RAN, 2007. – 387 s.

7. Sherstyuk V. Osnovih teorii dinamicheskikh scenarno-precedentnikh intelektualnikh sistem / V. G. Sherstyuk. – Kherson : Feniks, 2012. – 476 s.

8. Castillo O. Hybrid Intelligent Systems: Analysis and Design / O. Castillo, P. Melin. – London : Springer-Verlag, 2006. – 433 p.

9. Pospelov I. Dinamicheskoe opisanie sistem produkcij i proverka neprotivorechivosti produkcionnikh ehkspertnikh sistem / I. G. Pospelov, L. Ya. Pospelova // Izvestiya AN SSSR. Tekhnicheskaya kibernetika. – 1987. – № 1. – S.184-192.

10. Dzhekson P. Vvedenie v ehkspertnihe sistemih / P. Dzhekson. – M. : Viljams. – 2001. – 624 s.

11. Ezdakov A. Ehkspertnihe sistemih, osnovanihe na modelyakh / A. L. Ezdakov // Oboronniy kompleks nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii. – 2008. – № 3. – S. 24-28.

12. Sherstyuk, V. Dinamicheskij otbor precedentov v intelektualnoy sisteme «Musson» / V. G. Sherstyuk // Iskusstvenniy intellekt. – 2012. – №4. – S. 392-403.

Шерстюк В.Г. ГІБРИДИЗАЦІЯ ДИНАМІЧНОЇ СЦЕНАРНО-ПРЕЦЕДЕНТНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

У статті розглянуто питання інтеграції підсистем виведення в гібридних динамічних сценарно-прецедентних системах. Запропоновано підхід до інтеграції підсистем виведення за прецедентами на основі правил і на основі моделей, кожна з яких заснована на власній мові подання знань. Інтегруючою основою запропонованого підходу є використання комплементарних формалізмів подання знань - логічного на основі правдоподібної дескрипційної логіки та мережевого на основі правдоподібних деревовидних мереж подій. Отримана в результаті модель гібридної динамічної сценарно-прецедентної системи дозволяє здійснювати правдоподібне виведення висновків на основі правил, прецедентів і моделей, формуючи доречні рішення для проблемних ситуацій в реальному часі.

Ключові слова: сценарно-прецедентна система, сховище прецедентів, деревоподібна мережа подій, правила виведення, модель, підсистема виведення, інтеграція.

Sherstjuk V.G. HYBRIDIZATION OF DYNAMIC SCENARIO-CASE DECISION SUPPORT SYSTEM

This article describes the subsystems integration process for hybrid dynamic scenario-precedent systems. An approach is proposed to integration the case-based subsystem, the rule-based subsystem, and the model-based subsystem, each of which is based on his own knowledge representation language. The joint use of such complementary knowledge representation formalisms as the logic one based on plausible description logic and the network one based on plausible tree-like event networks, constitutes the integrating framework of the proposed approach. The result is the hybrid dynamic scenario-case system model, which allows a plausible conclusions based on the rules, cases and models and obtains the relevant solutions for problem situations in real time.

Keywords: scenario-case system, case base, tree-like event network, inference rules, models, inference subsystem, integration.

© Шерстюк В.Г.

Статтю прийнято
до редакції 07.05.15