

Реализация темпорального вывода в динамических интегрированных экспертных системах¹

Аннотация. Обсуждаются научные и технологические проблемы построения динамических интегрированных экспертных систем и подходы к их решению. Рассматривается новый этап развития задачно-ориентированной методологии построения интегрированных экспертных систем в контексте решения проблем построения динамических интегрированных экспертных систем. Особое внимание уделяется теоретическим вопросам, связанным с представлением и обработкой темпоральных знаний. Описываются особенности реализации программных средств темпорального вывода для динамической версии инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

Ключевые слова: интегрированные экспертные системы, динамические интегрированные экспертные системы, задачно-ориентированная методология, инструментальные средства, представление времени, интервальная логика Аллена, темпоральный решатель.

Введение

Динамические интеллектуальные системы (ДИС) и технологии активно применяются сегодня практически во всех производственных и социально значимых сферах человеческой деятельности, значительно расширяя как области использования методов искусственного интеллекта, так и классы задач, не решаемых традиционными методами и средствами [1-3].

Наибольшая динамика роста отечественных исследований и разработок наблюдается в таких ДИС, как динамические интегрированные экспертные системы (ИЭС) [2-4], интеллектуальные системы управления [5, 6], интеллектуальные системы поддержки принятия решений [7], интеллектуальные агенты и многоагентные системы [8], причем особую актуальность и важность приобретают задачи, связанные с созданием инструментальной базы для поддержки разработки отдельных классов ДИС [2-4, 9].

В целом, несмотря на отсутствие семантической унификации терминологической базы, единой классификации ДИС и их отдельных классов, к настоящему времени уже накопился круг общих научных и технологических про-

блем, препятствующих широкому распространению приложений ДИС в стратегически важных проблемных областях (ПрО), где возможен наиболее высокий эффект от применения современных архитектур ДИС [10]:

1. Трудности получения темпоральных знаний (т.е. знаний, рассматривающих *время* в качестве сущности предметной области) из различных источников знаний (эксперты, тексты, базы данных и др.) для динамического представления предметной области.

2. Сложность разработки формализмов для динамического представления предметной области, что определяется переменным составом ее сущностей, изменением во времени входных данных, поступающих от внешних источников (модели внешнего мира), и необходимостью структурирования, хранения и анализа, изменяющихся во времени данных.

3. Сложность процессов решения динамических задач, что связано с выполнением одно-временных временных (темпоральных) рассуждений о нескольких различных асинхронных процессах (задачах), наличием ограниченных ресурсов (время, память), изменением состава знаний и данных в процессах решения задач.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-01-00467).

4. Проблемы моделирования внешнего мира (внешнего окружения) и различных его состояний в реальном времени на всех этапах проектирования и разработки системы до внедрения.

5. Высокая стоимость зарубежных инструментальных программных средств поддержки разработки и сопровождения ДИС различных классов и практическое отсутствие отечественного инструментария для этих целей.

6. Необходимость наличия специальных программно-аппаратных средств сопряжения с внешним миром (наличие датчиков, контроллеров и др.).

Обозначенные проблемы в значительной степени определяют большую сложность разработки ДИС, в частности, *динамических ИЭС*, являющихся наиболее распространенным и востребованным классом ДИС. Кроме того, в настоящее время не предложено универсального подхода, позволяющего комплексно решать описанные проблемы (или часть из них), что подразумевает разработку *единой* целостной методологии и технологии создания систем подобного уровня сложности на всех этапах жизненного цикла. Современные коммерческие инструментальные средства для поддержки построения большинства классов ДИС (G2, RTworks, RTXPS и др.) при всей своей мощностности и универсальности не способны комплексно решать вышеперечисленные задачи в рамках единой методологии [4, 11-13].

Значительным шагом к построению подобной методологии может стать новый этап в развитии теории и технологии построения ИЭС на основе *задачно-ориентированной методологии*, основные положения которой были предложены и экспериментально исследованы Г.В. Рыбиной в 90-х годах прошлого века [2]. В настоящее время на базе задачно-ориентированной методологии созданы интеллектуальная программная технология и автоматизированное рабочее место инженера по знаниям – инструментальный комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, на основе которых разработано несколько десятков прикладных ИЭС, где в рамках единой масштабируемой архитектуры ИЭС совместно используется широкий спектр моделей и методов решения различных неформализованных и формализованных задач [2, 14].

Анализ приведенных выше проблем построения динамических ИЭС, находящихся в центре внимания данной работы, показывает,

что наименее исследованными из них с точки зрения системного подхода и создания целостной методологии являются тесно взаимосвязанные подходы к получению, представлению и обработке темпоральных знаний. Способность представлять *временные* зависимости между происходящими в системе событиями и их использование в процессе поиска решения задачи позволяют значительно сократить пространство поиска, что существенно сказывается на скорости функционирования динамической ИЭС в целом. В вышеупомянутых коммерческих инструментальных средствах (G2, RTworks, RTXPS и др.) подходы к отображению времени, а тем более темпоральных знаний, достаточно просты и, фактически, не используются в процессе решения динамических задач [10].

Таким образом, возникает необходимость создания моделей, методов и инструментальных программных средств, выполняющих процедуры темпорального вывода в динамических ИЭС. Данные модели, методы и программные средства должны быть объединены в рамках единых методологии и технологии, в качестве которой выступает задачно-ориентированная методология построения ИЭС и поддерживающий ее инструментальный комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

Целью данной работы является рассмотрение наиболее важных, с точки зрения авторов, теоретических и технологических результатов исследований и разработок в этой области.

1. Модели и методы темпорального вывода в динамических ИЭС

Представление временных зависимостей и анализ различных моделей и методов представления времени занимают значительное место в современных исследованиях в области ДИС (Рис. 1). Этому в той или иной степени посвящены работы [15-21], а также работы по управлению во времени [1, 22] точечной линейной модели времени [17, 24], интервальным временным логикам [25-27], ветвящемуся времени [23, 28], а также работы [10-13], в которых авторами были приведены аргументы об оправданности использования интервальной логики Аллена [26] и управления во времени [22] в динамической версии инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

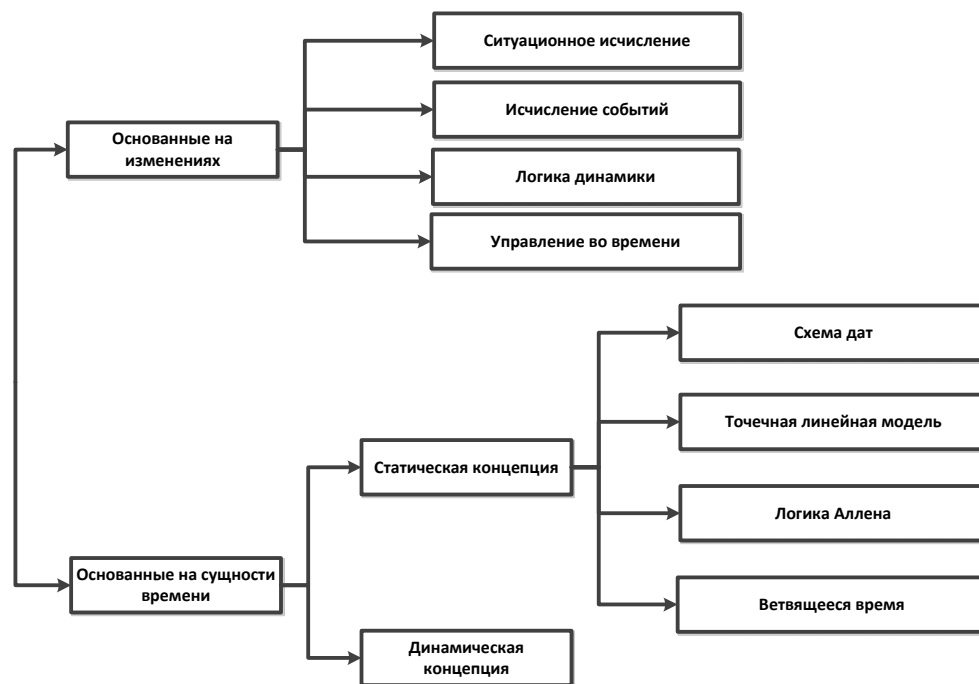


Рис.1. Основные модели и методы представления времени

Рассмотрим более детально предложенную модель темпорального вывода на продукционных правилах для динамических ИЭС (Рис. 2), предусматривающую обработку знаний, содержащих темпоральные зависимости, совместно с базовыми знаниями о ПрО на основе универсальных средств вывода (АТ-РЕШАТЕЛЬ), реализованных в задачно-ориентированной методологии [10, 29].

Темпоральный вывод – процесс рассуждений, учитывающий временные и причинно-следственные соотношения между объектами предметной области, а также возможность изменения в процессе работы состава знаний и данных. Особенности темпорального вывода на продукционных правилах в динамических ИЭС является работа по тактам, что означает получение новых данных на каждом такте работы, и необходимость выполнения вывода также на каждом такте.

Модель, соответствующая представленному на Рис. 2 механизму вывода, является обобщением базовой модели [2,29] для случая темпорального вывода, т.е. формально данная модель темпорального вывода может быть представлена следующим образом:

$$I' = \langle A, S'', K, W', D \rangle,$$

где A – процесс выбора активных правил из базы знаний (БЗ), необходимых для решения за-

дачи в очередном цикле работы интерпретатора, т.е. подмножества БЗ, правила из которого могут быть применены, если пройдут этап сопоставления;

S'' – процесс сопоставления посылок активных правил с состоянием рабочей памяти, включающий построение интерпретации модели развития событий, сопоставление темпоральных и нетемпоральных частей правил, а также различные преобразования НЕ-факторов знаний (неопределенность, неточность, нечеткость), в том числе фаззификацию [2, 29];

K – процесс разрешения конфликтов, определяющий выбор применяемого на текущем шаге вывода правила из списка успешно прошедших сопоставление;

W' – процесс выполнения следствия, выбранного при сопоставлении правила с вычислением истинности следствия, учитывая НЕ-факторы;

D – процесс дефаззификации фаззифицированных в ходе вывода значений параметров.

Следовательно, в отличие от развития классической модели вывода в контексте вывода на недостоверных знаниях [2, 29], этап сопоставления дополняется процессами, обеспечивающими модификацию интерпретации модели развития событий и сопоставление темпоральных частей посылок активных правил. Следует также

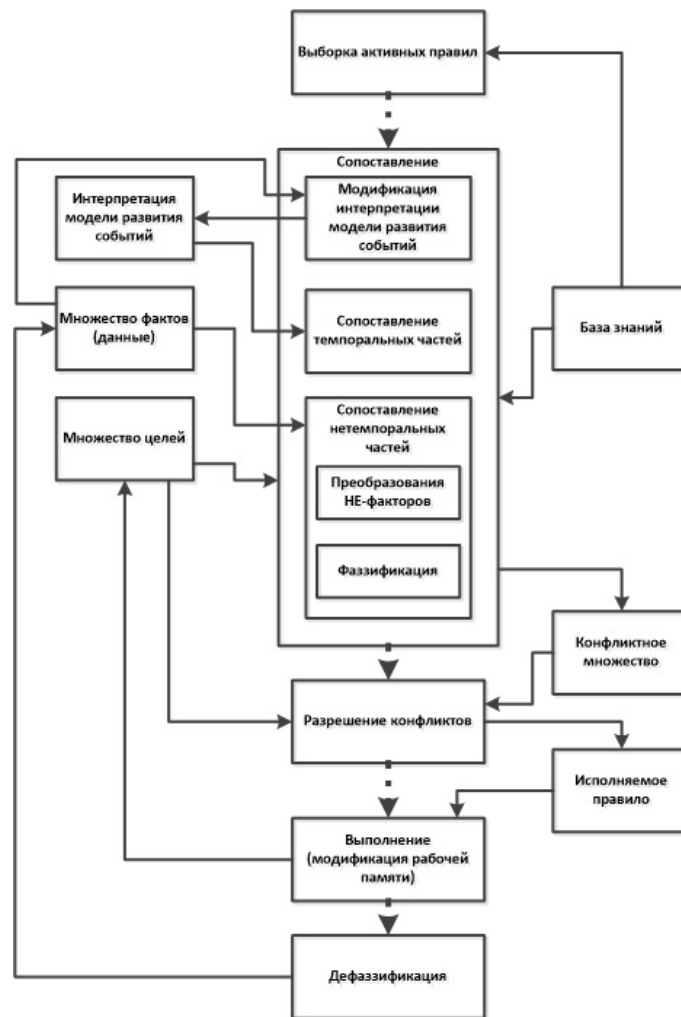


Рис.2. Схема темпорального вывода на продукционных правилах

отметить, что в случае динамических ИЭС вывод осуществляется независимо на каждом такте работы, причем общей частью является интерпретация модели развития событий, модифицирующаяся в рамках каждого такта. При интеграции механизмов базового и темпорального выводов особое внимание уделяется таким аспектам вывода, как реализация операции модификации интерпретации развития событий; реализация операции сравнения локальных моделей развития событий в правилах с глобальной интерпретацией модели развития событий для всех типов темпоральных высказываний.

Таким образом, целями темпорального вывода являются: построение интерпретации текущего развития событий в ПрО и генерация списка управляющих воздействий для ПрО (или модели ПрО). Поскольку основным подходом к представлению знаний, используемым в задачно-ориентированной методоло-

гии построения ИЭС, являются продукционные правила, то задачу темпорального вывода для динамических ИЭС следует описывать именно с точки зрения данного подхода.

Приведем формальную постановку задачи темпорального вывода на продукционных правилах. База знаний $KB = \{R_i\}, i = 1, \dots, n$ – представляет собой множество правил. Правило – это двойка $R_i = \langle C_i, E_i \rangle$, где C_i – посылка правила, а E_i – следствие правила. Посылка $C_i = \langle C_{is}, C_{it} \rangle$, где C_{is} – статические условия, а C_{it} – темпоральные условия (локальная модель развития событий). Следствие $E_i = \langle E_{i0}, E_{i+} \rangle$, где E_{i0} – срочные действия, а E_{i+} – несрочные действия. $E(t) = \{E_{ij}\}, j = 1, \dots, m$ – множество применяемых действий (модификаций рабочей памяти) на такте t . $M^t, t = 1, \dots, k$ – интерпретация текущей модели развития событий в ПрО на такте t (множество текущих состояний темпоральных примитивов история изменений этих состоя-

ний на прошлых тактах работы). D^t – данные, полученные от внешнего окружения на такте t . Изменение интерпретации задается следующим образом: $M^{t+1} = F(M^t, D^{t+1})$, где F – функция модификации интерпретации модели развития событий, идентифицирующая в полученных данных изменения (или не изменения) состояний темпоральных примитивов и сохраняющая их в интерпретации модели развития событий. Правило R_i может быть добавлено в конфликтный набор на такте t только в том случае, когда C_i^T соответствует M^t , а C_i^S соответствует D^t . Задача темпорального вывода на такте t ставится, как выполнение модификации интерпретации развития событий и составление списка применяемых действий, т.е. вычисление функции: $\langle E(t), M^t \rangle = \text{Solve}(KB, M^{t-1}, D^t)$.

Как было отмечено выше, для динамического представления ПрО на основании анализа и экспериментального исследования были выбраны модифицированная логика Аллена, основанная на классической логике Аллена [26], и логика управления во времени [22]. Поясним суть предложенного подхода.

Классическая логика Аллена задается следующим образом [17, 26]. Временной интервал X — это упорядоченная пара $\langle X_-, X_+ \rangle$, такая что $X_- < X_+$, где X_- и X_+ рассматриваются как моменты времени (например, на вещественной оси). Интервальная интерпретация (I -интерпретация) — это функция, отображающая временной интервал на числовую ось. Множество базисных интервальных отношений B определяется через отношения между концами интервалов. Множество всех бинарных отношений 2^B обозначается A . Атомарная формула $X \ r \ Y$, где X и Y интервалы, а $r \in B$, выполнима в некоторой I -интерпретации, если сохраняется отношение r между конечными точками интервалов. Интервальная формула — это формула вида $X \{r_1, \dots, r_n\} \ Y$ (обозначаемая «Ф»), где $r_1, \dots, r_n \in B$. Интервальная формула $X \{r_1, \dots, r_n\} \ Y$ выполнима в некоторой I -интерпретации, если формула XrY выполнима в этой интерпретации для любого i , $i = 1, \dots, n$. Конечное множество интервальных формул обозначается Θ . Множество Θ является I -выполнимым, если существует I -интерпретация (называемая I -моделью Θ), которая выполняет каждую формулу Θ . Если интервальная формула Φ выполнима каждой I -моделью множества формул Θ , то Φ логически следует из Θ : $\Theta \Rightarrow \Phi$. Основными задачами

вывода (из множества интервальных формул Θ) в логике Аллена являются: определение того, существует ли I -модель Θ , а также определение для каждой пары интервалов X, Y минимального отношения между ними, т.е. минимальное множество $R = \{r_1, \dots, r_n\}$, такое что $\Theta \Rightarrow_I XRY$.

Как было показано в [10], классическая логика Аллена обладает ограниченной выразительной способностью (отсутствие моментальных событий, количественных характеристик темпоральных примитивов и др.), что усложняет ее применимость в динамических ИЭС. С целью расширения выразительной способности логики Аллена была проведена ее модификация, опирающаяся на работу [27] и заключающаяся в проведении следующих изменений, связанных с включением:

- в состав основных темпоральных объектов логики Аллена событий и операций над ними, что позволило сделать описания с помощью данной логики более естественными (это упрощает впоследствии реализацию средств автоматизированного приобретения знаний) (например, «в ходе эксперимента *загоралась лампочка*»);
- в состав связок логики Аллена классических логических связок, обеспечивающих возможность описания моделей развития событий, содержащих несколько темпоральных ограничений (например, «горел индикатор ошибки *А* или горел индикатор ошибки *Б*»);
- в состав формул логики Аллена непосредственно темпоральных объектов (событий и интервалов), что позволяет оперировать в модели развития событий фактами непосредственного их наблюдения (например, «*только что включился насос*»);
- в состав операций над темпоральными объектами логики Аллена операций, связанных с измерением качественных характеристик объектов (продолжительность, количество возникновений), что обеспечивает возможность оперировать не только качественными характеристиками темпоральных объектов, но и количественными (например, «*в течение 5 минут не наблюдалось никакой активности*» или «*звонок прозвенел 5 раз*»).

Применение модифицированной логики Аллена предполагает использование дискретного времени, т.е. изменения в ПрО происходят по тактам. Объектами модифицированной интервальной логики Аллена являются события, возникающие в ПрО, и темпоральные интервалы, отражающие протекание какого-либо процесса.

Теперь приведем описание модифицированной логики Аллена, в которой исходными символами являются: переменные, обозначающие события и интервалы; характеристики переменных: c – количество возникновений (события или интервала), l – продолжительность (интервала); логические связи: $\sim$ (отрицание), $\&$ (конъюнкция), $\vee$ (дизъюнкция); связи Аллена: b (*before* – раньше), a (*after* – позднее), m (*meets* – встречается), o (*overlaps* – перекрывает), s (*starts* – начинает), d (*during* – во время), e (*is equal* – равно, точнее, синхронно с), f (*finishes* – заканчивает); связи сравнения: $>$ (больше), $<$ (меньше), $=$ (равно); целые числа; левая и правая скобки: $($ и $)$. Элементарными формулами модифицированной логики Аллена являются: выражения $X r Y$, где X, Y – интервалы и r – любая связь Аллена; выражения $X r Y$, где X, Y – события и r – связь Аллена из множества $\{b, a, e\}$; выражения $X r Y$, где X – событие, Y – интервал и r – связь Аллена из множества $\{b, a, s, d, f\}$; выражения $XH r N$, где X – переменная, H – характеристика, r – связь сравнения, N – целое число. В качестве формул модифицированной логики Аллена выступают: переменные; элементарные формулы; если f и g – формулы, то формулами также являются: $\sim f$, $(f \& g)$, $(f \vee g)$.

Таким образом, модель развития событий задается совокупностью темпоральных объектов (событий и интервалов), а локальная модель развития событий в правиле – формулами логики Аллена. Интерпретация модели развития событий задается временами возникновения событий и временами начал и окончаний интервалов.

Использование механизмов управления во времени, т.е. применение определенных действий, исходя из изменения состояний ПрО без ввода сущности времени, опирается на [1, 22, 30] и подразумевает реализацию различных способов активации правил, позволяющих

реагировать на конкретные наблюдаемые события и интервалы. Данные типы правил будут введены далее.

Для представления темпоральных знаний на основе базового языка представления знания (ЯПЗ) комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ [2] был разработан обобщенный ЯПЗ для динамических ИЭС. Он позволяет представлять темпоральные знания, основанные на модифицированной интервальной логике Аллена и логике управления во времени, совместно с базовыми знаниями, в том числе содержащими знания с неопределенностью, неточностью и нечеткостью. Основными элементами базового ЯПЗ являются объекты и правила. Объекты соответствуют сущностям ПрО и описываются в виде: объект $(IO, NameO, L)$, где IO – порядковый номер объекта; $NameO$ – имя объекта; L – список атрибутов, причем атрибут объекта имеет вид: Атрибут $(IA, NameA, Type)$, где IA – порядковый номер атрибута; $NameA$ – имя атрибута; $Type$ – тип атрибута, который имеет вид: Тип $(IT, NameT, U)$, где IT – номер типа атрибута; $NameT$ – имя типа атрибута; U – множество возможных значений атрибута (список конкретных значений атрибута, либо диапазон значений, в котором указываются максимальное и минимальное значения атрибута, либо функция принадлежности).

В обобщенном ЯПЗ событие представляется как объект ПрО в виде объекта с основным атрибутом – *условием возникновения*. Тип данного атрибута – *логическое выражение*, значение которого представляет собой обычное логическое выражение, связывающее атрибуты других объектов ПрО, не являющихся темпоральными примитивами (это новый тип элемента множества U). Истинность значения атрибута *условие возникновения* в момент времени T показывает то, что данное событие произошло в момент времени T . Кроме этого событие имеет также атрибут *количество возникновений*, являющимся целым числом и описывающим количество раз, которое событие наблюдалось в ПрО.

Темпоральный интервал аналогичным образом представляется в виде объекта с двумя основными атрибутами – *условием начала* и *условием окончания*. Оба данных атрибута имеют тип «логическое выражение». Истинность значения атрибута *условие начала* в момент времени T_1 показывает, что данный интервал начался в момент времени T_1 , а истинность значения ат-

рибута *условие окончания* в момент времени T_2 показывает то, что данный интервал закончился в момент времени T_2 , т.е. интерпретацией данного интервала на временную ось является отрезок $[T_1, T_2]$, где T_1 всегда меньше T_2 . Также интервал имеет еще два атрибута – *количество возникновений* (аналогично событиям) и *продолжительность* (целое число, описывающее длительность наблюдения интервала в ПрО).

Правило в базовом ЯПЗ представляется как $(IR, Ins, Cons)$, где IR – порядковый номер правила; Ins – посылка правила, которая содержит список пар типа «атрибут-значение», связанных между собой логическими отношениями конъюнкции и дизъюнкции; $Cons$ – действие правила, которое содержит список атрибутов с присваиваемыми им значениями. Посылка темпорального продукционного правила в обобщенном ЯПЗ при таком подходе содержит (кроме обычных составляющих) некоторую локальную модель развития событий, описанную с помощью событий, темпоральных интервалов (с учетом длительностей), частоты их возникновения и отношений между ними. Применение правой части (означивание) правила в таком случае может быть выполнено только при соответствии этой локальной модели текущему развитию событий в ПрО. Таким образом, применение модифицированной логики Аллена позволяет описывать темпоральные зависимости между объектами ПрО непосредственно внутри правил, причем отслеживание проявлений этих зависимостей обеспечивает принятие решений с учетом текущего развития событий в ПрО.

Теперь рассмотрим особенности управления во времени, которое требует введения в ЯПЗ новых типов правил. С одной стороны, подобные правила должны обеспечивать быстрое реагирование на определенные (обычно экстренные) события ПрО («правила-реакции»), с другой – необходимо отслеживать определенные циклы в работе («периодические правила»). «Правила-реакции» в целом соответствуют модифицированной логике Аллена и представляют собой правила, содержащие в посылке условия из элементарных формул, являющихся одиночным темпоральным объектом (событием или интервалом). Для представления «периодических правил» у правила ЯПЗ вводится новый атрибут ТИП, способный принимать одно из двух значений: «Обычное» и «Периодическое». Посылки Ins периодических

правил несут в себе дополнительное условие – период выполнения.

Опишем кратко суть предложенного метода обработки темпоральных знаний, позволяющего производить вывод на основе знаний, содержащих *временные* (темпоральные) зависимости, путем проверки соответствия локальных моделей развития событий интерпретации глобальной модели развития событий в ПрО. Основными изменениями в рамках модели вывода выступают необходимость на этапе сопоставления выполнять формирование интерпретации развития событий и обработку темпоральной части посылок продукционных правил. При формировании интерпретации развития событий происходит привязка событий и интервалов, определенных в проблемной области, к временной оси путем идентификации фактов их возникновения на основании имеющихся в рабочей памяти данных и рассмотрения истории возникновения в прошлом. Отдельного внимания требуют случаи повторных возникновений и нестандартного расположения событий на временной оси (например, наблюдения признаков окончания интервала до его открытия). Обработка темпоральной части посылок продукционных правил опирается на результат формирования интерпретации развития событий в ПрО. Для активных правил осуществляется решение задачи проверки соответствия локальных моделей развития событий, описанных с помощью модифицированной логики Аллена и логики управления во времени, с построенной интерпретацией.

2. Программные средства темпорального вывода в динамических ИЭС

Темпоральный решатель, являющийся одним из новых компонентов динамической версии инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ [2, 10-13] в процессе функционирования в соответствии с постановкой задачи темпорального вывода на правилах и функциональными требованиями выполняет решение двух задач – построение интерпретации модели развития событий в ПрО и означивание темпоральной части продукционных правил. Архитектура темпорального решателя приведена на Рис. 3.

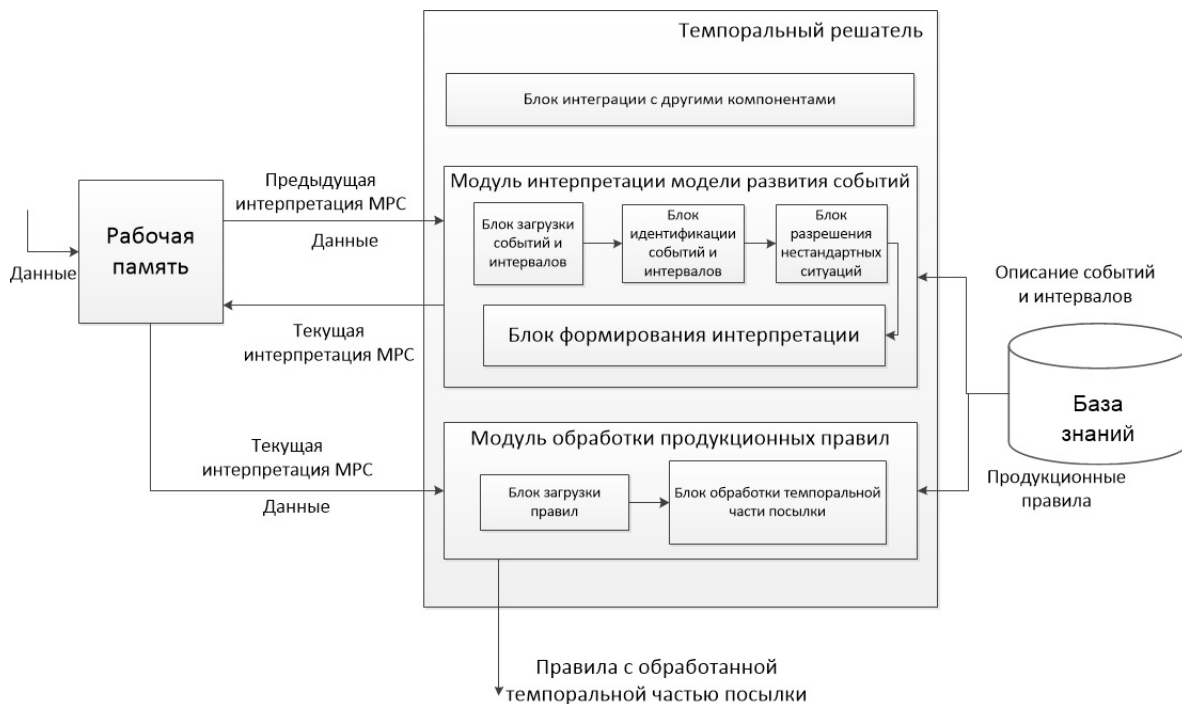


Рис. 3. Архитектура темпорального решателя

Рассмотрим кратко назначение модулей и блоков. *Модуль интерпретации модели развития событий* обеспечивает построение начальной интерпретации и ее модификацию на каждом шаге и включает несколько блоков:

- *блок загрузки событий и интервалов* обеспечивает загрузку во внутреннее представление описаний событий и интервалов Про;
- *блок идентификации событий и интервалов* проверяет соответствие поступающих на каждом такте работы данных условиям возникновения событий и интервалов;
- *блок разрешения нестандартных ситуаций* обеспечивает разрешение конфликтов между поступающими данными и текущей интерпретацией (например, наблюдение окончания интервала до наблюдения его начала).

Модуль обработки продукционных правил предназначен для загрузки и означивания темпоральных частей правил в соответствии с текущей интерпретацией модели развития событий.

Блок интеграции с другими компонентами предоставляет программный интерфейс для взаимодействия с остальными компонентами комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

Важной особенностью темпорального решателя является тесное взаимодействие с универсальным АТ-РЕШАТЕЛЕМ и подсистемой имитационного моделирования внешнего окружения

(внешнего мира), являющейся обязательным компонентом любой динамической ИЭС. Темпоральный решатель, как и подсистема имитационного моделирования, работает по тактам, а процесс взаимодействия темпорального решателя и подсистемы имитационного моделирования осуществляется путем обмена данными и командами в асинхронном режиме.

На Рис.4 представлена схема взаимодействия темпорального решателя, универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ и подсистемы имитационного моделирования.

Взаимодействие темпорального решателя с АТ-РЕШАТЕЛЕМ и подсистемой имитационного моделирования обеспечивают средства поддержки совместного функционирования. Кроме того, компоненты взаимодействуют посредством общей рабочей памяти.

Следует отметить, что взаимодействие темпорального решателя с универсальным АТ-РЕШАТЕЛЕМ и подсистемой имитационного моделирования осуществляются в двух режимах: в режиме разработки прикладной динамической ИЭС (включая отладку серии прототипов ИЭС) и в режиме функционирования финального прототипа динамической ИЭС. В контексте данной работы, в первую очередь, рассматривался режим разработки как основной режим, необходимый для построения динамических ИЭС.

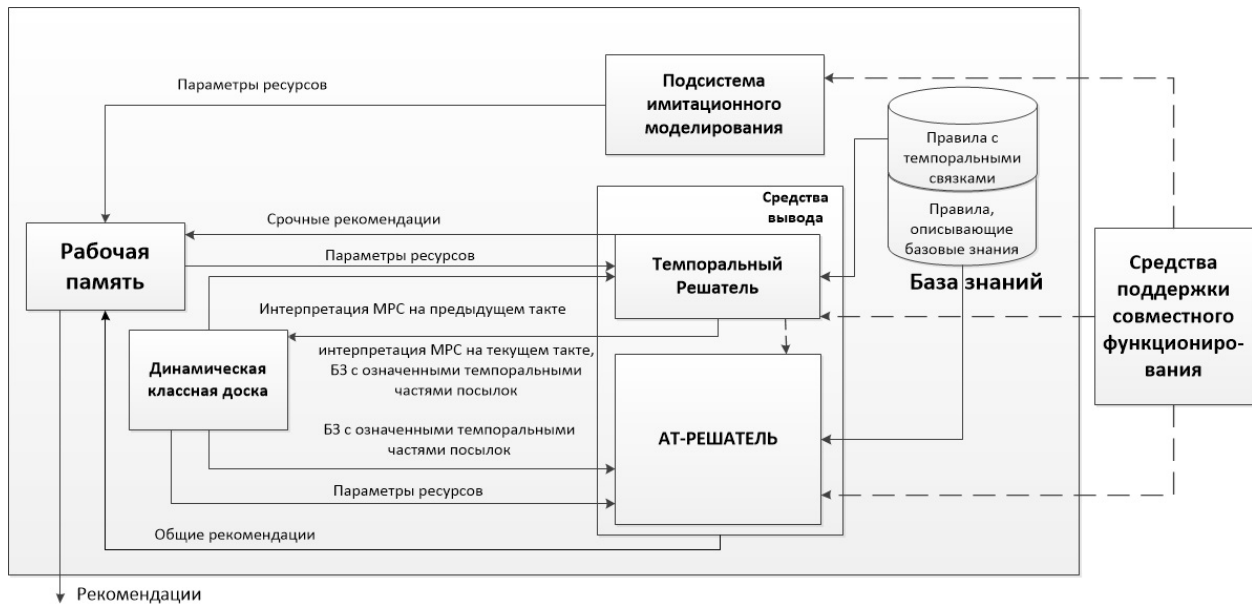


Рис.4. Схема взаимодействия темпорального решателя, АТ-РЕШАТЕЛЯ и подсистемы имитационного моделирования

Взаимодействие компонентов начинается после того, как средства поддержки совместного функционирования получают сообщение о начале отладки разрабатываемого прототипа динамической ИЭС. В начале работы происходит конфигурация компонентов, что включает установку продолжительности такта работы для подсистемы имитационного моделирования и указания базы знаний для темпорального решателя и АТ-РЕШАТЕЛЯ.

Средства поддержки совместного функционирования обеспечивают синхронизацию работы компонентов путем посылки им сообщений с командой запуска или остановки. В рабочей памяти представлены выделенные объекты ПрО, совокупность атрибутов которых описывает состояние системы. БЗ содержит темпоральные правила, необходимые для решения поставленной задачи, а также описание событий и интервалов. В результате темпорального вывода на правилах происходит изменение состояния системы, т.е. в общем случае меняются атрибуты объектов рабочей памяти в соответствии с решаемой задачей.

Синхронное взаимодействие означало бы, что после передачи данных (от подсистемы имитационного моделирования темпоральному решателю) подсистема имитационного моделирования перешла в режим ожидания до момента завершения вывода темпоральным решателем. Напротив, под *асинхронным* взаимодействием понимается возможность продолжения работы подсистемы

имитационного моделирования, не дожидаясь окончания темпорального вывода. Асинхронное взаимодействие позволяет получить более высокую производительность системы за счет использования времени на обработку общих ситуаций темпоральным решателем для выполнения следующего такта моделирования. Следует отметить, что подобное асинхронное взаимодействие соответствует реальной практике, когда невозможно мгновенно отреагировать на какое-либо событие. По этой причине взаимодействие темпорального решателя и подсистемы имитационного моделирования является асинхронным.

На Рис. 5 приведена временная диаграмма, более детально описывающая процессы совместного функционирования компонентов. Функционирование подсистемы имитационного моделирования и средств вывода являются асинхронными процессами и выполняются параллельно. Функционирование темпорального решателя и АТ-РЕШАТЕЛЯ – синхронные процессы, выполняющиеся последовательно.

Длина одного такта работы подсистемы имитационного моделирования и продолжительность ожидания между тактами моделирования задаются жестко. На данной диаграмме жестко привязаны максимальное время обработки срочных и общих ситуаций темпоральным решателем и АТ-РЕШАТЕЛЕМ, т.е. время для вывода ограничено. В случае если вывод был прерван, в рабочую память записываются промежуточные результаты вывода.

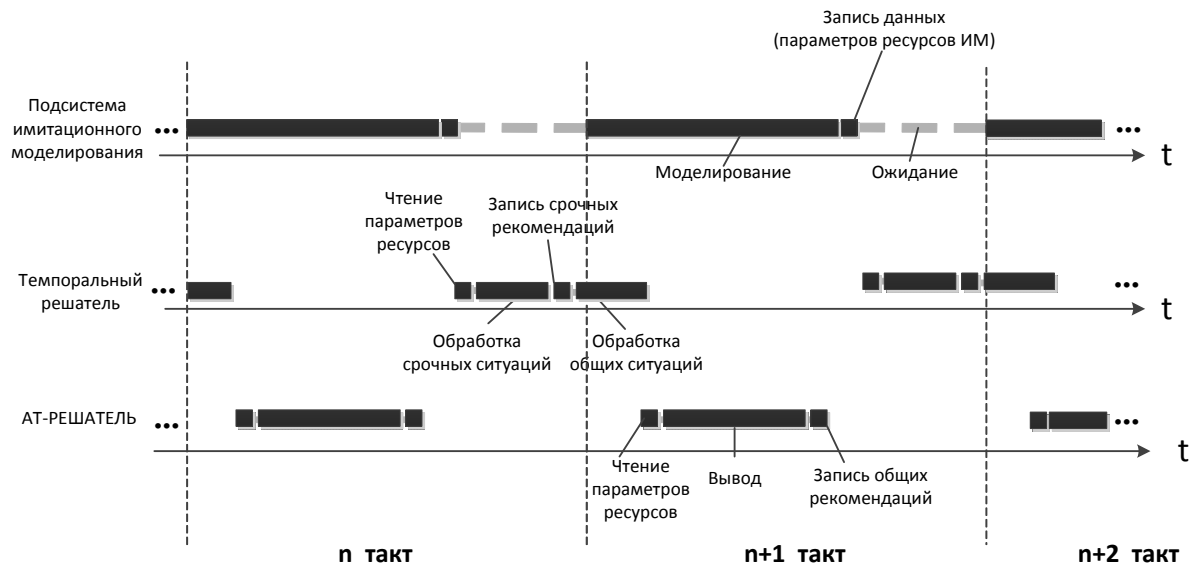


Рис. 5. Временная диаграмма совместного функционирования компонентов

Взаимодействие компонентов комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ представляет собой весьма сложный процесс, требующий разработки моделей, методов и программных средств поддержки взаимодействия. На Рис. 6 показана архитектура средств поддержки совместного функционирования.

Назначение модулей и блоков следующее:

Блок конфигурации осуществляет конфигурацию компонента. Конфигурация заключается в установке продолжительности времени такта дискретного модельного времени, присвоении имен для объектов подсистемы имитационного моделирования, темпорального решателя и универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ.

Блок генерации модельного времени осуществляет отсчет тактов дискретного модельного времени в соответствии с продолжительностью такта, установленной блоком конфигурации.

Блок сканирования рабочей памяти осуществляет наблюдение за изменениями рабочей памяти.

Блок вычисления управляющих воздействий реализует целевую функцию модели взаимодействия. В результате работы блока определяется целевой компонент и управляющее воздействие, которое необходимо отправить.

Блок генерации управляющих воздействий формирует управляющее воздействие в виде сообщения определенному компоненту.

Интерфейсный модуль обмена сообщениями с компонентами осуществляет обработку входящих сообщений и посылку управляющих воздействий.



Рис. 6. Архитектура средств поддержки совместного функционирования компонентов динамической версии комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ

для входящих сообщений и посылку управляющих воздействий.

Для средств поддержки совместного функционирования были разработаны специализированные средства отладки, позволяющие осуществлять эмуляцию совместной работы компонентов комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ как в пошаговом режиме, так и в режиме реального времени. Использование средств отладки позволило максимально полно исследовать совместную работу основных компонентов ди-

намической версии инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

Заключение

Проведенные экспериментальные исследования продемонстрировали преимущества разработанных инструментальных программных средств над аналогами по ряду таких критериев, как мощность ЯПЗ, скорость работы, сокращение сроков разработки динамических ИЭС. Проверка работоспособности и эффективности использования созданных инструментальных программных средств осуществлялась также путем разработки совокупности базовых компонентов, минимально необходимых для функционирования динамических ИЭС (например, [31] и др).

Литература

- Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011.
- Рыбина Г.В. Теория и технология построения интегрированных экспертных систем. - М.: Научтехлитиздат, 2008.
- Рыбина Г.В., Паронджанов С.С. Технология построения динамических интеллектуальных систем. Учебное пособие. - М.: НИЯУ МИФИ, 2011.
- Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д. Статические и динамические экспертные системы. Учебное пособие. - М.: Финансы и статистика, 1996.
- Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению // Изв. РАН. ТиСУ. 2001. №1. С. 5-22.
- Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. Отделение информационных технологий и вычислительных систем РАН. - М.: Наука, 2006.
- Башлыков А.А., Еремеев А.П. Семиотические системы реального времени для интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении сложными техническими объектами // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. №5. С. 49-57.
- Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. - М.: Эдиториал УРСС, 2012.
- Рыбина Г.В. Экспертные системы и инструментальные средства для их разработки: некоторые итоги // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. №5. С. 35-48.
- Рыбина Г.В., Мозгачев А.В., Паронджанов С.С., Со Тиха Аунг Динамические интегрированные экспертные системы: представление и обработка темпоральных знаний // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2013. №6. С. 23-33.
- Рыбина Г.В. Инструментальные средства построения динамических интегрированных экспертных систем: развитие комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ // Искусственный интеллект и принятие решений. 2010. №1. С. 41-48.
- Рыбина Г.В., Паронджанов С.С., Шанцер Д.И., Мозгачев А.В. Тенденции развития и применения современного программного инструментария для поддержки построения динамических интеллектуальных систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2010. №11. С. 2-11.
- Рыбина Г.В., Демидов Д.В., Шанцер Д.И., Мозгачев А.В. Динамические интегрированные экспертные системы: новые возможности инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2011. №6. С. 7-15.
- Рыбина Г.В. Практическое применение задачно-ориентированной методологии построения интегрированных экспертных систем (обзор приложений в статических и динамических проблемных областях) // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2011. №12. С. 10-28.
- Shoham Y. Temporal logics in AI: Semantical and ontological considerations // Artificial Intelligence. 1987. N. 33(1). P.37-63.
- Shoham Y. Goyal N. Representing time and action in AI. revised version of: Problems in formal temporal reasoning // Artificial Intelligence. 1988. N. 36(1). P.49-61.
- Еремеев А.П., Троицкий В.В. Концепции и модели представления времени и их применение в интеллектуальных системах // Новости искусственного интеллекта. 2004. №1. С. 6-29.
- Spranger S. Representation of Temporal Knowledge for Web-based Applications. - Munchen, 2002.
- Allen. J. Time and time again: The many ways to represent time // Journal of Intelligent Information Systems. 1991. N. 6(4). P. 341-356.
- Стефанюк В.Л. Динамическая экспертная система и логическая проблема фрейма // Международная конференция по искусственному интеллекту (AIS'07/CAD-2007). - М.: Физматлит. 2007. Т.2. С. 107-113.
- Федунов Б.Е. Бортовые оперативно-советующие экспертные системы - новый класс алгоритмов управления антропоцентрическими объектами // Одиннадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. КИИ-2008: Труды конференции в 3-х томах. Том 1. - М.: ЛЕНАНД, 2008.
- Осипов Г.С. Динамические интеллектуальные системы. // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. №1. С. 47-54.
- Еремеев А.П. Логика ветвящегося времени и ее применение в интеллектуальных системах поддержки принятия решений. // Десятая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2006: Труды конференции в 3-х томах. - М.: Физматлит, 2006. Т.3. С. 746-754.

24. Еремеев А.П., Куриленко И.Е. Компонента временных рассуждений для интеллектуальных систем поддержки принятия решения реального времени // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. №1. С. 31-45.
25. Еремеев А.П., Королев Ю.И. Сети Петри как инструмент для разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: теория и практика. Материалы 1-го международного симпозиума - Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2012, ч. 2, С. 108-117.
26. Allen J. Maintaining knowledge about temporal intervals // Communications of the ACM. 1983. N.26 (11). P.832-843.
27. Плесневич Г.С. Метод аналитических таблиц для логики событий. // Труды Международной конференции "Интеллектуальное управление: новые интеллектуальные технологии в задачах управления (ICIT'99)". – Переславль-Залесский: ИПС, 1999.
28. Ladkin, P., Anger F., Rodriguez R. Temporal reasoning with intervals in branching time. TR-90-028, International Computer Science Institute, 1990.
29. Рыбина Г.В., Демидов Д.В. Модели, методы и программные средства вывода в интегрированных экспертных системах // Инженерная физика. №2, 2007. С. 51-60.
30. Moore B. Questions and Answers about G2. // Copyright, Gensym Corporation. 1993. P. 26-28.
31. Рыбина Г.В., Шанцер Д.И., Липатов А.А. Имитационное моделирование внешнего мира при построении динамических интегрированных экспертных систем // Тринадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. Труды конференции. Т.3.– Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. С.179-185.

Рыбина Галина Валентиновна. Профессор кафедры «Кибернетика» Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». Окончила Московский инженерно-физический институт в 1971 году. Доктор технических наук. Лауреат премии Президента РФ в области образования. Автор свыше 450 печатных работ. Область научных интересов: интеллектуальные системы и технологии, статические, динамические и интегрированные экспертные системы, интеллектуальные диалоговые системы, многоагентные системы, инструментальные средства. E-mail: galina@ailab.mephi.ru

Мозгачев Алексей Василевич. Аспирант кафедры «Кибернетика» Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». Окончил Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» в 2010 году. Автор 25 печатных работ. Область научных интересов: интеллектуальные системы и технологии, динамические интегрированные экспертные системы, инструментальные средства, представление времени.