
УДК 658.512

А.П. Еремеев, В.В. Троицкий

**ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ И ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ
ЗАВИСИМОСТЕЙ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
РЕШЕНИЙ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ СЕМИОТИЧЕСКОГО ТИПА**

Рассматриваются возможности применения временных и причинно-следственных отношений в системах поддержки принятия решений реального времени (СППР РВ) семиотического типа. Описывается возможность использования языка представления временных и причинно-следственных зависимостей, разработанного на основе интервальной временной логики Аллена, и вопросы его реализации. Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ (проект 99-01-00049).

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что системы поддержки принятия решений реального времени (СППР РВ) представляют собой сложные программно-аппаратные комплексы, предназначенные для помощи лицам, принимающим решения (ЛПР) при управлении сложными объектами и процессами различной природы, как правило, в условиях жестких временных ограничений [1]. В [2-4] показано, что СППР РВ относятся к классу интегрированных динамических интеллектуальных систем семиотического типа, сочетающих точные математические методы и модели поиска решения с неточными, эвристическими методами и моделями, базирую-

щимися на экспертных знаниях, моделях человеческих рассуждений, неклассических логиках и накопленном опыте.

**СППР РВ СЕМИОТИЧЕСКОГО ТИПА ФОРМАЛЬНО МОЖНО
ОПРЕДЕЛИТЬ НАБОРОМ**

$$SS = \langle M, R(M), F(M), F(SS) \rangle,$$

где $M = \{M_1, \dots, M_n\}$ - множество формальных или семиотических (логолингвистических) моделей, реализующих различные интеллектуальные функции (поиск решения, прогнозирование последствий принимаемых решений и развития проблемной ситуации, образное моделирование, оценка результатов и т.д.);

$R(M)$ - функция выбора необходимой модели или совокупности моделей в текущей ситуации;

$F(M) = \{F(M_1), \dots, F(M_n)\}$ - множество функций модификации моделей M_1, \dots, M_n с учетом временных ограничений;

$F(SS)$ - функция модификации системы SS в целом, т.е. ее базовых элементов $M, R(M), F(M)$ возможно самой $F(SS)$.

Поиск решения в рамках конкретной модели M_i поддерживается правилами монотонного или, если необходимо, немонотонного и нечеткого вывода. Переход с одной модели на другую сопровождается, как правило, нарушением ("разрывом") монотонности. Этот переход осуществляется посредством реакции на соответствующее событие (например, выход некоторого параметра за допустимые границы) или посредством применения нечеткого продукционного правила типа $A' * (A \rightarrow B)$, где A' и A - нечеткие множества, описывающие проблемные ситуации или состояния управляемого объекта (между A и A' должно быть определено нечеткое отношение сходства), B - результирующее нечеткое множество, $*$ - операция композиции нечетких множеств.

Количество контролируемых и неконтролируемых параметров для сложного объекта типа энергоблока измеряется сотнями. Получение аналитического выражения функции управления и гарантия ее хорошей дифференцируемости для возможности применения классических методов теории устойчивости и теории аттракторов чрезвычайно сложно и обычно практически неосуществимо. Более того, для прогнозирования развития ситуации (процесса) при условиях недетерминизма и неполноты поступающей информации (например, по причине неисправности или отказа некоторых датчиков) известная марковская модель описания процесса должна быть заменена на более сложную немарковскую модель с временными параметрами типа [4,5]

$$s(t + t') = f(s(t), s(t-t'), \dots, s(t-nt'), u(t), u(t-t'), \dots, u(t-mt'), v(t), v(t-t'), \dots, v(t-kt')),$$

где $s(t)$ - состояние в момент времени t ,

$s(t + t')$ - состояние через заданный временной интервал t' ;

$u(t)$ - измеряемые и управляемые параметры;

$v(t)$ - измеряемые или неизменяемые неуправляемые параметры, образующие фон или внешнее окружение (среду) объекта;

f - функция управления;

n, m, k - некоторые целые числа.

Основной задачей СППР РВ для управления сложными объектами и процессами типа энергообъектов является помощь ЛПР для удержания объекта в нормальном (штатном) режиме функционирования. Для этого необходимо реализовать функции, определяемые современными методами управления в аномальных и критических ситуациях и базирующиеся на моделях и методах теории аттракторов [6-8], теории устойчивости решений в задачах выбора [9], методах геометризации управления сложными системами и методах когнитивной графики [10,11], методах обработки неопределенности и поиска решения на основе неклассических логик [12] с использованием темпоральных и причинно-следственных (каузальных) зависимостей.

ВРЕМЕННЫЕ И ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЕ ОТНОШЕНИЯ В СППР РВ

Представление временных и причинно-следственных (каузальных) зависимостей в моделях M_i и рассуждение (поиск решения) на основе этой информации в СППР РВ требует языка, который мог бы отображать истинность и ложность высказываний в различные моменты времени. Такой язык должен быть хорошо определенным и ясным как для разработчиков СППР РВ, так и для ЛПР, т.е. иметь хороший синтаксис и семантику.

В искусственном интеллекте существует множество способов представления меняющейся со временем информации (знаний). В основном применяются способы, базирующиеся на представлении мира в виде набора «мгновенных снимков» (ситуаций и сущностей) и действий, переводящих мир из одной ситуации в другую. Классическими представителями данного подхода являются различные варианты ситуационного исчисления и STRIPS систем [13-18]. Предложенные методы обладают существенными недостатками по представлению сложных временных и причинно-следственных зависимостей между событиями, действиями и свойствами. Вызывает затруднение представление событий, имеющих длительность во времени; событий со сложной внутренней структурой, которые могут расщепляться на более простые; событий, сложным образом взаимодействующих между собой с появлением синергетических эффектов; а также внешних событий. Использование данного подхода в чистом виде в моделях M_i для СППР РВ может привести к ограничению круга представимых временных и причинно-следственных зависимостей предметной области.

Поэтому целесообразно при конструировании СППР РВ использовать подход, базирующийся на представлении времени и причинно-следственных (каузальных) отношений на основе различных временных логик. Логика обладает большей выразительной силой и пригодна для представления сложных временных зависимостей. Достаточно подробный обзор различных способов формализации времени во временных логиках представлен в [17,19].

Немаловажным аспектом при использовании временных логик в моделях M_i является наличие алгоритмов временного вывода, позволяющих проводить автоматические рассуждения. Следует отметить, что в СППР РВ алгоритмы вывода (поиска решения) должны работать в условиях жестких временных ограничений.

Можно выделить несколько временных логик обладающих привлекательными вычислительными свойствами. Среди них немонотонная

временная логика, предложенная в [19], на основе которой реализована система немонотонных временных рассуждений BABY-SIT [20]. В качестве основы механизма представления временных и причинно-следственных (каузальных) зависимостей моделях M_i для СППР РВ семиотического типа выберем временную интервальную логику Аллена [14,15,21]. Основной причиной выбора этой логики является наличие механизмов временного вывода. Рассмотрим некоторые основные конструкции логики Аллена.

СИНТАКСИС И СЕМАНТИКА

Интервальная временная логика Аллена является многосортной логикой предикатов первого порядка. Все связки и обозначения используются в обычном смысле: $\wedge, \vee, \neg, \Rightarrow, \Leftrightarrow, \forall, \exists$ - соответственно конъюнкция, дизъюнкция, отрицание, импликация, эквивалентность, кванторы всеобщности и существования.

Вводится примитивный объект (сорт) – интервал времени - и примитивное отношение - *Meets* (встречи двух периодов времени). Свойства отношения и интервалов времени задаются с помощью аксиом. Например: $\forall i, \exists j, k. Meets(j,i) \wedge Meets(i,k)$ - для любого интервала i существуют соприкасающиеся с ним с обоих концов интервалы j и k .

Временной интервал интуитивно воспринимается как время, связанное с происхождением некоторого события или справедливостью некоторого свойства в мире.

Между парой временных интервалов определяется набор базисных отношений, с помощью которых возможно представлять любые зависимости между интервалами времени (рис. 1).

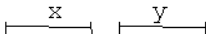
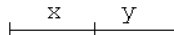
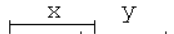
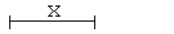

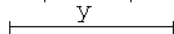
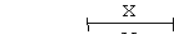
Отношение	Обозначение	Инверсия	Значение
x before y	b	bi	
x meets y	m	mi	
x overlaps y	o	oi	
x starts y	s	si	
x during y	d	di	
x finishes y	f	fi	
x equal y	eq	eq	

Рис. 1. Базисные отношения между временными интервалами

Содержательная интерпретация отношений следующая:

1. *Before*(x, y) - интервал x находится перед интервалом y ;
2. *Meets*(x, y) - интервал x встречается с интервалом y (конец интервала x совпадает с началом интервала y);
3. *Overlaps*(x, y) - интервал x пересекается с интервалом y ;
4. *Starts*(x, y) - начало интервала x , совпадает с началом интервала y ;
5. *During*(x, y) - интервал x принадлежит интервалу y ;
6. *Finishes*(x, y) - конец интервала x совпадает с концом интервала y ;
7. *Equal*(x, y) - интервал x равен интервалу y .

Инверсия этих отношений эквивалентна перемене мест аргументов.

Задача временного рассуждения (вывода) в логике Аллена относится к классу задач по согласованию ограничений. В общем случае эти задачи относятся к классу NP-полных. Но в большинстве практических случаев удается решать задачу по согласованию временных ограничений за полиномиальное время, что позволяет разрабатывать применимые в СППР РВ алгоритмы временных рассуждений.

Подробное описание логики можно найти в [Allen 1984; Allen et al., 1994; Hayes 1995].

РЕАЛИЗАЦИЯ

На основе описанной логики построен язык для представления различных причинно-следственных и временных зависимостей. Эти зависимости затем транслируются в классы и правила моделей (базы знаний) M_i СППР РВ, создаваемой на базе высокоэффективного инструментального комплекса конструирования динамических экспертных систем G2+GDA (Gensym Co., USA) [22], имеющего достаточно развитые средства учета времени в продукционных правилах и средства обработки событий происходящих в реальном времени. Однако в данном комплексе нет развитых средств планирования и предсказания развития ситуации во времени, что крайне необходимо для решения задач прогнозирования и оценки последствий принимаемых решений в СППР РВ.

Поэтому язык разработан в самостоятельной системе моделирования временных и причинно-следственных (каузальных) зависимостей, структурная схема которой приведена на рис. 2. Данная системы используется как дополнительная среда (расширение) G2+GDA.

Реализованы следующие базовые средства представления причинно-следственных зависимостей:

- ◆ средства описания объектов предметной области (язык представления);
- ◆ механизм для задания правил изменения предметной области во времени (правил каузации);
- ◆ средства манипулирования и изменения объектов G2 (items) и их характеристик.

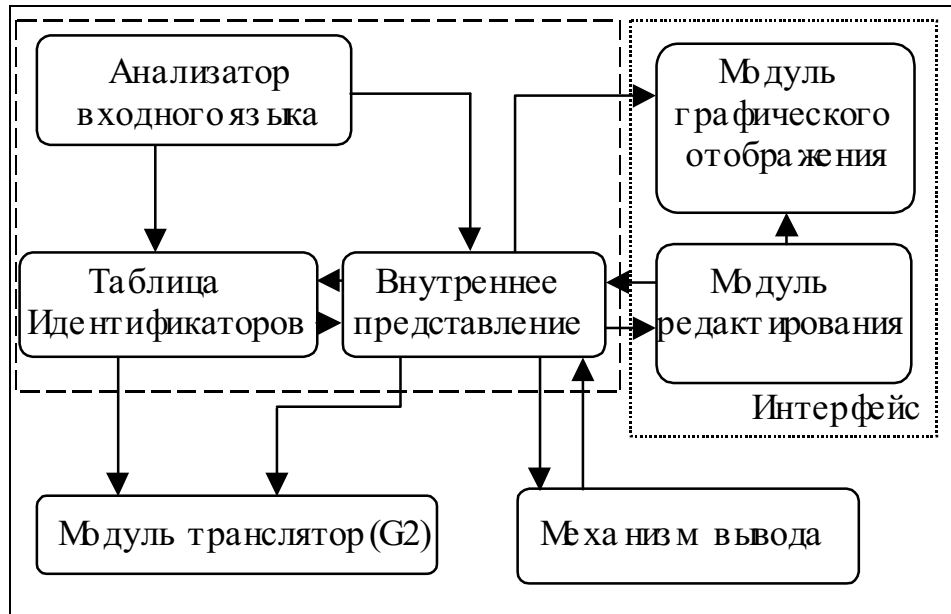


Рис. 2. Общая структура системы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время на кафедре Прикладной математики Московского энергетического института (технического университета) в рамках тематики создания семиотических СППР РВ с использованием инструментального комплекса G2+GDA отлаживается базовая версия языка представления причинно-следственных (каузальных) и временных зависимостей. Помимо вышеперечисленных средств планируется реализовать также:

- ◆ систему графического редактирования временных и причинно-следственных зависимостей;
- ◆ механизм временного вывода.

Данные средства составят основу системы для работы с языком представления временных и причинно-следственных (каузальных) зависимостей для СППР РВ семиотического типа. Полученные результаты и созданные на их основе программные средства применены в прототипе СППР РВ для поддержки оперативно-диспетчерского персонала атомного энергоблока [23,24].

ЛИТЕРАТУРА

1. Башлыков А.А., Еремеев А.П. Экспертные системы поддержки принятия решений в энергетике. М.: Изд-во МЭИ, 1994.
2. Вагин В.Н., Еремеев А.П. Реализация концепции распределенного искусственного интеллекта и многоагентности в системах поддержки принятия решений на базе инструментального комплекса G2+GDA // Proc. of the Internat. Workshop Distributed Artificial Intelligence Multi-Agent Systems "DAIMAS"97, June 15-18, 1997, St.-Peterburg, Russia, c. 262-268.
3. Yermeyev A.P. Organization of Semiotic Type Knowledge Representation Model for Dynamic Decision Support Systems // Proc. of Seventh Int. Conf. 'Artificial Intelligence and Information-Control Systems of Robots' AIICSR'97.

- Second Workshop on Applied Semiotics, Sept. 15, 1997. Smolenice Castle, Slovakia, pp. 77-81.
4. *Yeremeyev A.P.* The Organization of Real Time Decision Support Systems of a Semiotic Type // Proc. of Workshop Applied Semiotics and Abstracts of CAI'98 Reports, Vol III, 1998. Pushchino, Russia, pp. 3-7.
 5. *Whitehead S.D., Lin Long-Ji.* Reinforcement Learning of Non-Markov Decision Processes. - Artificial Intelligence, 73, 1995, pp. 271- 306.
 6. *Чиркова Р.Ю., Мальковский М.Г.* Технология создания экспертных систем для динамических задач управления процессами в критических ситуациях // Программирование, N 6, 1996, с.48-62.
 7. *Красовский А.А.* Аттракторы и синтез управления в критических режимах // Изв. РАН, серия "Теория и системы управления", N 2, 1996, с.5-14.
 8. *Кастри Дж.* Большие системы. Связность, сложность и катастрофы.- М.: Мир, 1982.
 9. *Гордеев Э.Н., Леонтьев В.К.* Задачи выбора в условиях неопределенности // В сб. Компьютер и задачи выбора / Автор предисл. Ю.И. Журавлев.- М.: Наука, 1989, с.120-143.
 10. *Бутковский А.Г.* На пути к геометризации управления // Изв. РАН, серия "Теория и системы управления", N 1, 1997, с.16-27.
 11. *Еремеев А.П.* Инструментальная среда для конструирования виртуальной реальности в диалоговых системах принятия решений // Тр. Шестой национальной конф. по искусственному интеллекту с междунар. участием КИИ'98, 5-11 октября, Пущино, Россия. Том II, 1998, с.543-548.
 12. *Vagin V.N.* Non-Classical Logics in Semiotic Systems // Proc. of Workshop Applied Semiotics and Abstracts of CAI'98 Reports. Vol III, 1998. Pushchino, Russia, pp. 34-39.
 13. *Кондрашена Е.Ю., Литвинцева Л.В., Поспелов Д.А.* Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах / Под ред. Д.А.Поспелова. - М.: Наука, 1989.
 14. *Allen J. F.* Towards a General Theory of Action and Time. - Artificial Intelligence, 23(2), July 1984, pp. 123-154.
 15. *Allen J. F. and Ferguson G.* Actions and Events in Interval Temporal Logic, Technical Report 521, 1994.
 16. *Shoham Y.* Reasoning about Change. - MIT Press, Boston, MA, 1988.
 17. *Shoham Y. and Goyal N.* Representing Time and Action in Artificial Intelligence. Frontiers of Artificial Intelligence, MIT Press, 1989.
 18. *Нильсон Н.* Принципы искусственного интеллекта. - М.: Радио и Связь, 1985.
 19. *Hayes P. J.* A Catalog of Temporal Theories, MIT Press, 1989.
 20. *Tin E. and Akman V.* Situated nonmonotonic temporal reasoning with BABY-SIT, AI Communication, 10(1997), pp. 3-109.
 21. *Van Beek P. and Manchak D. W.* The Design and Experimental Analysis of Algorithms for Temporal Reasoning. Journal of Artificial Intelligence Research, 4 (1996), pp. 1-18.
 22. *Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д.* Статические и динамические экспертные системы, М.: Финансы и статистика, 1996.
 23. *Башлыков А.А., Вагин В.Н., Еремеев А.П.* Экспертные системы поддержки интеллектуальной деятельности операторов АЭС, Вестник МЭИ, М.: Изд-во МЭИ, 1995. - С. 27-36.
 24. *Еремеев А.П., Симонов Д.Н., Чибизова Н.В.* Реализация прототипа системы поддержки принятия решений реального времени на основе инструментального комплекса G2 // Программные продукты и системы, N 3, 1996, с.21-26.