

Метакогнитивный подход, основанный на концепции шаговой логики, был успешно применен в ряде проблемных областей, среди которых:

- 1) планирование действий в жестком реальном времени [8];
- 2) обучение с подкреплением [5];
- 3) исправление ошибок диалога [9];
- 4) рассуждение о других агентах [6].

### **Заключение**

Рассмотренный в данной статье подход к выявлению аномального хода рассуждений когнитивного агента при принятии решений ориентирован для применения в многоагентных системах жесткого реального времени, чем и обусловлена его специфика. Опыт практического применения данного подхода к построению различных интеллектуальных систем уже показал, что устойчивость таких систем к аномалиям выше, чем у аналогичных систем, в которых этот подход не применялся [5]. Вместе с тем его нельзя рассматривать в качестве универсального, решающего все проблемы, связанные с обеспечением устойчивости к аномалиям интеллектуальных систем. Однако не вызывает сомнений, что на пути решения этих проблем такого рода метакогнитивный подход на основе метарассуждений является необходимым звеном.

### **Библиографический список (Bibliography)**

- 1 **Anderson, M.L.** Logic, self-awareness and self-improvement: The metacognitive loop and the problem of brittleness / Michael L. Anderson, Don Perlis // Journal of Logic and Computation. – 2005. – № 15(1).
- 2 **Flavell, J.H.** Speculations about the nature and development of metacognition / J.H. Flavell // Metacognition and Motivation. – NJ : Lawrence Erlbaum Associates, 1979.
- 3 **Flavell, J.H.** Metacognition and cognitive monitoring: A new era in cognitive-developmental inquiry / J.H. Flavell // American Psychologist. – 1987. – № 34(10). – P. 906–911.
- 4 **Metcalf, J.** Metacognition: knowing about knowing / J. Metcalf, A.P. Shimamura. – Cambridge, MA : MIT Press, 1994.
- 5 The metacognitive loop I: Enhancing reinforcement learning with metacognitive monitoring and control for improved perturbation tolerance / Michael L. Anderson, Tim Oates, Waiyan Chong, Don Perlis // Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence. – 2006. – № 18(3). – P. 387–411.
- 6 **Elgot-Drapkin, J.** Step Logic: Reasoning situated in time. PhD thesis / J. Elgot-Drapkin // Department of computer science, University of Maryland, College Park. – Maryland, 1988.
- 7 **Fagin, R.** Belief, awareness and limited reasoning / R. Fagin, J.Y. Halpern // Artificial Intelligence. – 1988. – № 34. – P. 39–76.
- 8 Practical Reasoning and Plan Executing with Active Logic / K. Purang, D. Purushothaman, D. Traum, C. Andersen, D. Traum, D. Perlis // Proceedings of the IJCAI'99 Workshop on Practical Reasoning and Rationality, 1999.
- 9 **Anderson, M.L.** Empirical results for the use of meta-language in dialog management / Michael L. Anderson, Bryant Lee // Proceedings of the 26th Annual Conference of the Cognitive Science Society, 2004.
- 10 **Newell, F.** Unified Theories of Cognition / F. Newell. – Cambridge : Cambridge University Press, 1990.

УДК 007 : 519.816

*А.П. Еремеев, Ю.И. Королев*

### **МЕТОДОЛОГИЯ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ НА ОСНОВЕ ЦВЕТНЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ**

В последнее время активно разрабатываются компьютерные системы, предназначенные для помощи лицам, принимающим решения (ЛПР), при управлении сложными объектами и процессами в условиях достаточно жестких временных ограничений. Типичным примером таких объектов являются транспортные системы и объекты энергетики. О важности наличия средств представления времени и темпоральных зависимостей в интеллектуальных системах говорится практически с момента появления таких систем, однако особенно актуальной эта проблема стала именно в связи с появлением и развитием интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени ИСППР РВ [1].

На кафедре прикладной математики Московского энергетического института (НИУ «МЭИ») в научной группе, организованной одним из основателей направления «искусственный интеллект» в СССР и России Д.А. Поспеловым, уже более двадцати пяти лет проводятся исследования по разработке математического и программного обеспечения ИСППР, включая ИСППР РВ, ориентированные на открытые и динамические предметные области [2, 3].

Возможны различные способы интеграции интеллектуальных систем, основанных на знаниях, с математическим моделированием. В отличие от физической модели, которая материальна, математическая модель является логическим объектом. Подобный подход позволяет разрабатывать системы, опираясь на уже разработанные теоретические выкладки, что существенно облегчает процесс. В зависимости от дальнейшего использования модели можно отнести к одному из следующих типов:

- *функциональные модели*, отображающие закономерности функционирования объектов и используемые при проектировании систем для исследования принципов их работы и характера протекающих процессов;
- *структурные модели*, отражающие структурные характеристики и используемые при конструировании систем в ситуациях, когда важными являются связи отдельных частей объектов между собой.

Очевидно, что гибридные модели, сочетающие особенности обоих перечисленных, могут обладать существенно большей выразительностью, что необходимо учитывать при выборе инструментов моделирования. Другим принципиально важным критерием являются характерные свойства моделируемой системы.

ИСППР РВ в общем случае является динамической нестационарной нелинейной системой. При выборе математической модели для моделирования таких систем необходимо учесть эти свойства. Также важно отразить не только закономерности функционирования, но и структурные характеристики системы. Очевидно, что для выявления конструктивных (структурных) закономерностей системы необходимо добиться максимальной визуальной выразительности. Поэтому для дальнейших исследований в качестве базовой модели был выбран один из графоориентированных инструментов моделирования – сети Петри (СП). СП зарекомендовали себя как удобный, наглядный и в то же время математически строгий формализм для моделирования и анализа сложных систем [4]. Важным его достоинством является разрешимость многих поведенческих свойств. СП позволяют с достаточной степенью детализации моделировать вычислительные процессы и процессы управления. Удобство формализма СП было продемонстрировано на множестве практических приложений. Но для моделирования работы реальных систем часто необходимо учитывать фактор времени [5, 6], что сложно реализуемо в классических СП.

Цветные сети Петри реального времени (ЦСП РВ) [7] являются временным (темпоральным) подклассом цветных СП (ЦСП) [8], ориентированным на моделирование и анализ систем реального времени. Этот подкласс обладает рядом свойств, необходимых для разработки на его основе ИСППР РВ, однако отсутствие средств представления качественных временных зависимостей делает такую систему весьма ограниченной. В целях решения этой проблемы предлагается расширить формализм ЦСП РВ средствами интервальной темпоральной логики Аллена [9], которая характеризуется достаточной выразительностью и наличием полиномиальных алгоритмов вывода, что позволяет использовать ее в интеллектуальных системах типа ИСППР РВ [11]. В качестве временных примитивов в ней используются интервалы, что важно при моделировании сложных систем. Отметим, что точечные (оперирующие моментами) временные логики недостаточно чувствительны к смысловым различиям между глагольными предикатами.

*Временной интервал*  $X$  – это упорядоченная пара  $(X_-, X_+)$ , такая, что  $X_- < X_+$ , где  $X_-$  и  $X_+$  рассматриваются как моменты времени (например, на вещественной оси);  $B = \{b, bi, m, mi, o, oi, d, di, s, si, f, fi, e\}$  множество базисных интервальных отношений логики Аллена (представлены в таблице). Тогда атомарная формула логики Аллена – выражение вида  $X r Y$ , где  $X$  и  $Y$  – интервалы,  $r$  – базисное отношение из  $B$ , интервальная формула – выражение вида  $\varphi = X \{r_1, r_2, \dots, r_n\} Y$ .

Формальное определение ЦСП РВ с поддержкой логики Аллена приведено в [12, 13]. Пусть  $v$  – переменная,  $\Gamma(v)$  – функция, которая определяет тип переменной, то есть множество всех допустимых значений, которые может принимать переменная. Пусть  $x$  – выражение,  $V(x)$  – множество всех возможных значений в выражении  $x$ ,  $\Gamma(x)$  – тип результата вычисления выражения  $x$ , то есть множество всех возможных значений, которые могут быть получены при вычислении этого выражения. Обозначим  $Int$  множество всех временных интервалов, а переменную, определяющую интервал, ассоциирующуюся с местом сети  $p$ , будем обозначать именем этого места. Представим ЦСП РВ с поддержкой логики Аллена в виде кортежа  $N = (\Sigma, P, T, A, C, G, I, E_M, E_S, M_0, S_0)$ , где:

- $\Sigma$  – непустое конечное множество непустых типов (множеств цветов);
- $P$  – непустое конечное множество мест;
- $T$  – непустое конечное множество переходов,  $P \cap T = \emptyset$ ;
- $A \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$  – конечное множество дуг;

- $C: P \rightarrow \Sigma$  – функция типа;
- $G$  – защитная функция:  $\forall t \in T: (\Gamma(G(t)) \subseteq Bool, \Gamma(v(G(t))) \subseteq \Sigma \cup Int)$ ;
- $I: T \rightarrow N \cup \{0\}$  – функция приоритетов;
- $E_M$  – функция весовых выражений дуг,  $\forall a \in A: (\Gamma(E_M(a)) \subseteq C(P(a)), \Gamma(v(E_M(a))) \subseteq \Sigma \cup Int)$ ;
- $E_S$  – функция временных выражений дуг,  $\forall a \in A: (\Gamma(E_S(a)) \subseteq Q^+ \cup \{0\}, \Gamma(v(E_S(a))) \subseteq \Sigma \cup Int)$ ;
- $M_0$  – начальная маркировка,  $M_0(p) \subseteq 2^{C(p)}$ ;
- $S_0: P \rightarrow Q$  – начальное значение функции временных меток.

#### Базисные интервальные отношения логики Аллена

Отношение и его инверсия	Обозначение	Иллюстрация
$X \text{ before } Y$ $Y \text{ after } X$	$b$ $bi$	
$X \text{ meets } Y$ $Y \text{ met-by } X$	$m$ $mi$	
$X \text{ overlaps } Y$ $Y \text{ overlapped-by } X$	$o$ $oi$	
$X \text{ during } Y$ $Y \text{ includes } X$	$d$ $di$	
$X \text{ starts } Y$ $Y \text{ started-by } X$	$s$ $si$	
$X \text{ finishes } Y$ $Y \text{ finished-by } X$	$f$ $fi$	
$X \text{ equals } Y$	$e$	

Чтобы проиллюстрировать главные аспекты, приведем в качестве примера модель автоматической остановки поезда [14]. В кабине машиниста каждые 60 секунд загорается световой сигнал, чтобы проверить, контролирует ли он идущий поезд. Если машинист проигнорирует световой сигнал, то через 6 секунд включается звуковой сигнал. Затем, если машинист не деактивирует его в течение 3 секунд, срабатывает механизм аварийного торможения. Модель ЦСП РВ с поддержкой логики Аллена для данного примера, представленная на рис. 1, включает 6 мест:

- *LightSig* и *SoundSig* (контроль состояния индикаторов);
  - *Brake* (механизм торможения);
  - *Driver* (машинист поезда);
  - *Timer1* и *Timer2* (таймеры);
- и 6 переходов:
- *TurnOnLS* (включение светового сигнала);
  - *TurnOnSS* (включение звукового сигнала);
  - *TurnOnBr* (запуск механизма торможения);
  - *DisactLS* и *DisactSS* (деактивация машинистом соответствующих сигналов);
  - *Activity* (моделирование действий машиниста).

Формулы логики Аллена применены в данном случае как защитные функции переходов *DisactLS* и *DisactSS*, обозначающих своевременную реакцию машиниста (ЛПР) на световой и звуковой сигнал соответственно:

- *Driver d LightSign* – переход *DisactLS* сработает, если токен в месте *Driver* появится в тот момент, когда в месте *LightSign* будет находиться токен *on*;
- *Driver d SoundSign* – переход *DisactSS* сработает, если токен в месте *Driver* появится в тот момент, когда в месте *SoundSign* будет находиться токен *on*.

Главным преимуществом в данном случае является возможность задавать не конкретное время реакции, как в случае ЦСП РВ, а интервалы, на которых ЛПР может дезактивировать систему и каждый из которых определяет дальнейшее поведение модели. Таким образом, включение в модель средств интервальных темпоральных логик позволило корректно отразить неопределенность, присущую задаче, что является одним из основополагающих принципов при проектировании перспективных ИСППР РВ.

Средства компьютерного моделирования в составе ИСППР РВ актуальны как для теоретических исследований, так и для практического применения. Создание инструментария для решения подобной задачи представляет серьезную проблему прежде всего потому, что среда разработки должна поддерживать концепцию реального времени, а также из-за требования универсальности разрабатываемых моделей. Однако некоторые системы, в частности инструментальный комплекс конструирования систем реального времени *G2* (*Gensym Corp.*, США), позволяют реализовывать подобные проекты.

*G2* – это объектно ориентированная интегрированная среда для разработки и сопровождения приложений – интеллектуальных систем реального времени, использующих базы знаний. В отличие от систем, ориентированных на какую-то одну методологию или на конкретную предметную область, *G2* интегрирует в себе множество взаимодополняющих методов искусственного интеллекта, что упрощает и ускоряет процесс разработки приложений и позволяет делать их достаточно универсальными [15]. Эти особенности позволили разработать в данной среде эффективный инструментарий для моделирования систем на основе ЦСП РВ с поддержкой логики Аллена [16]. Модель системы остановки поезда, созданная средствами данного инструментария, приведена на рис. 2.

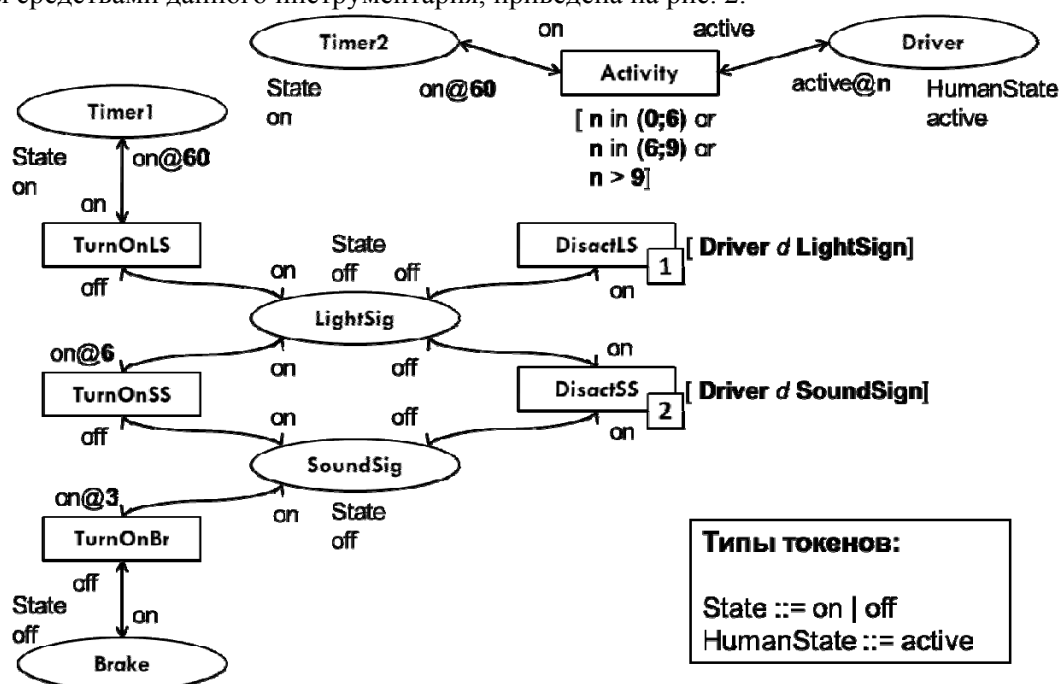


Рис. 1. Модель системы остановки поезда (ЦСП РВ с поддержкой логики Аллена)

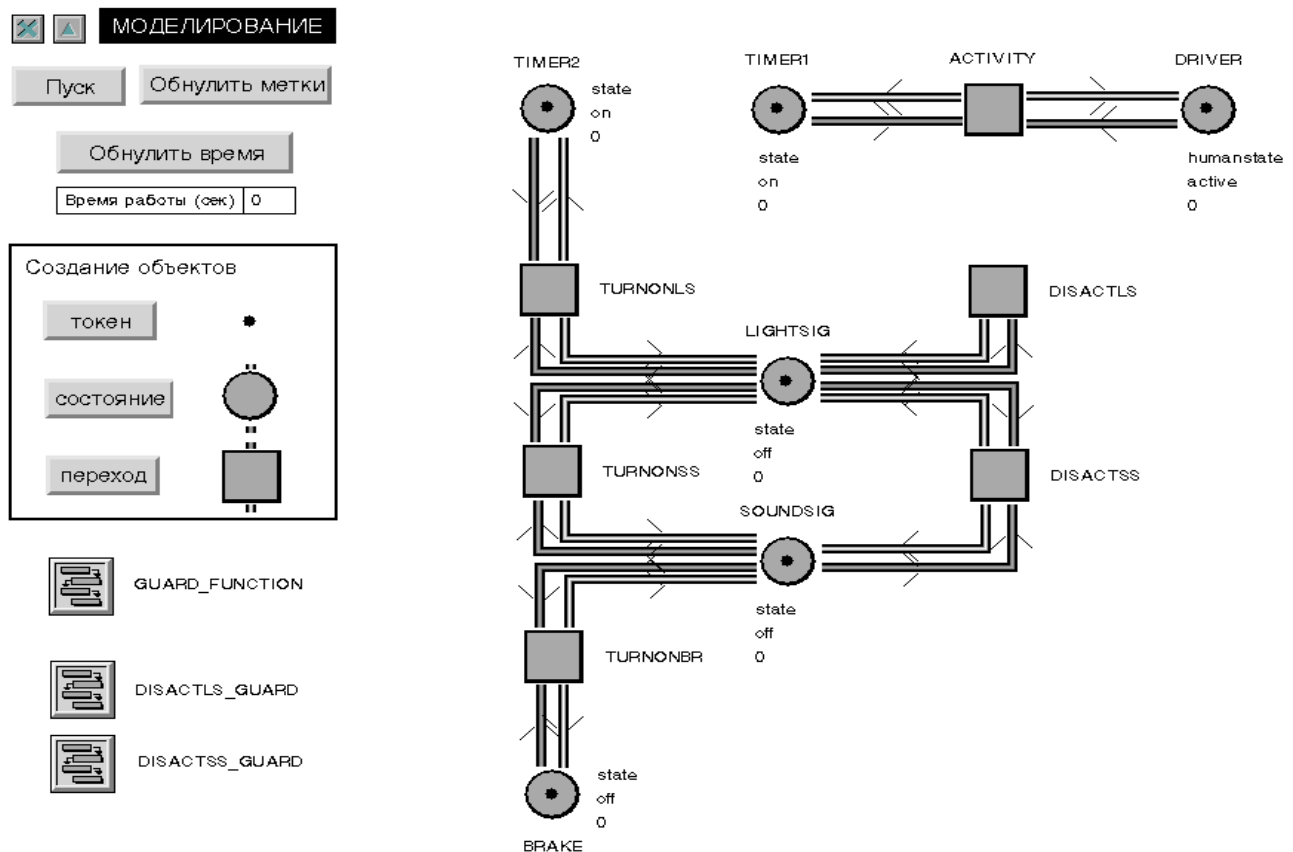


Рис. 2. Модель системы остановки поезда (среда G2)

Данный пример, конечно, демонстрирует решение довольно тривиальной задачи с позиций управления системой. Однако он в достаточной степени полно иллюстрирует основные свойства ЦСП РВ с поддержкой логики Аллена и подтверждает возможность разработки программной реализации системы автоматического управления. Предлагаемый формализм позволяет решать и другие, более сложные задачи, связанные с управлением сложными объектами. Такой задачей, например, является обеспечение безопасного проезда составов через железнодорожную станцию.

Пропускная способность станции напрямую зависит от ее топологии – количества путей, их взаимного расположения и наличия стрелочных переходов между ними. Пример топологии небольшой железнодорожной станции [14] приведен на рис. 3. Станция состоит из пяти путей, два из которых являются основными и проходят мимо одной платформы. Стрелочные переходы обозначены кодами Z01, Z02, .. Z14, семафоры, регулирующие перемещения, – латинскими буквами A, B, ... L.

По топологии станции можно задать продукционные правила, обеспечивающие безопасный проезд в зависимости от ситуации – текущих положений стрелок, необходимости останавливаться у платформы, заполненности путей. Используя данные правила, инженер по знаниям разрабатывает статическую интеллектуальную систему на основе ЦСП. Если в систему внести информацию по количественным и качественным временным зависимостям на основе задержек переходов сети и формул логики Аллена, система станет динамической и появится возможность контроля и управления процессом перемещения составов в реальном времени.

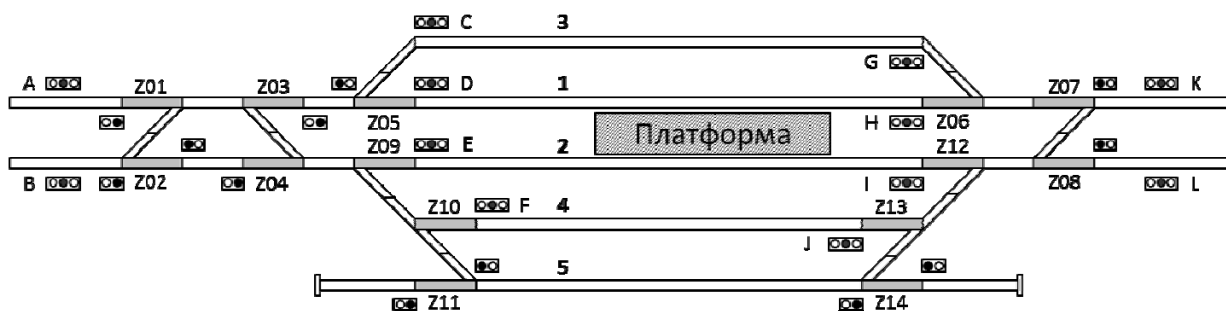


Рис. 3. Топология железнодорожной станции

Очевидно, однако, что ЦСП, моделирующая подобную систему, будет довольно громоздка и трудна для восприятия, анализа, верификации и будущих корректировок. Поэтому при моделировании систем с помощью этого формализма предлагается использовать методологию декомпозиции для повышения эффективности моделирования. Данная методология предполагает разбиение исходной ЦСП на несколько подсетей, которые называют страницами. Особая форма иерархической ЦСП, называемая *канонической формой*, была определена для ускорения и облегчения разработки моделей [7]. ЦСП РВ в канонической форме состоят из четырех типов подсетей с жестко определенной структурой:

- исходные страницы мест;
- исходные страницы переходов;
- страницы связи;
- D-сети.

Такая модель описывает структуру соответствующей системы, а также ее поведение и функциональные аспекты (рис. 4). Исходные страницы мест (рис. 4, а) используются для представления активных объектов (т.е. объектов, осуществляющих деятельность) и их деятельности. Они ориентированы на представление объектов и находятся на высшем уровне иерархии страниц. Исходные страницы переходов (рис. 4, б) ориентированы на представление деятельности и расположены на втором уровне иерархии. Страницы связи (рис. 4, в) принадлежат функциональному уровню модели и используются, чтобы при необходимости представлять алгоритм, описывающий деятельность в деталях. Кроме того, страницы связи используются в качестве интерфейса для вставки соответствующих D-сетей в модель. D-сети (рис. 4, д) используются для представления систем, основанных на продукционных правилах, в форме сетей Петри. D-сеть содержит два места: условие и результат. Каждое правило вывода представлено переходом и его входной и выходной дугами. Токен, размещенный в месте условия, определяет последовательность условий правил. Аналогично, токен места результата определяет последовательность атрибутов результата. D-сети принадлежат к нижнему уровню модели.

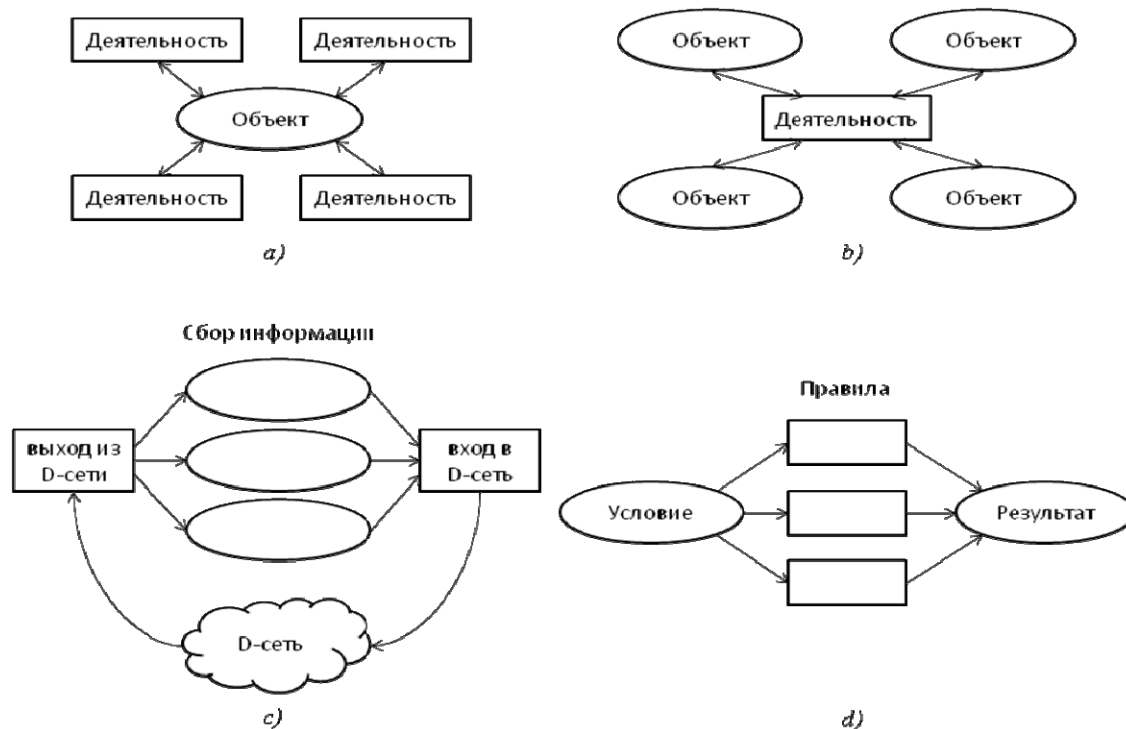
Связи между отдельными страницами модели задаются на странице графа иерархии. Вершина такого графа представляет одну страницу, а дуга – связь с подстраницей с учетом заменяемого перехода.

Если рассматриваются временные свойства, то можно сосредоточиться на исходных страницах переходов и пропустить их подстраницы. Любая деятельность страниц связи начинается срабатыванием входного перехода и заканчивается срабатыванием выходного. Кроме того, каждое срабатывание входного перехода должно сопровождаться такой последовательностью срабатываний переходов, где последним является выходной, а все промежуточные – вспомогательными. Такая модель деятельности подобна вызову процедуры в языках программирования.

Декомпозиция системы – первый шаг при разработке модели. Она начинается с определения типов объектов, которые входят в систему. Объекты делятся на активные, т.е. осуществляющие деятельность, и пассивные, которые не выполняют каких-либо собственных действий. Объект представляется основным местом. Для каждого объекта определяются список атрибутов и их типы. Декартово произведение типов задает тип соответствующего места. Создание исходных страниц мест завершает разработку на этой стадии.

Следующий этап разработки связан с описанием модели действий, что особенно важно для систем реального времени. Переходы, размещенные в исходных страницах мест, как правило, являются заменяемыми переходами. Для каждого из них создается исходная страница перехода. Проектирование исходной страницы перехода подобно объявлению процедуры в языке программирования. Необходимо описать входные и выходные параметры. Если переход на исходной странице перехода не является заменяемым, то эта страница представляет собой полное определение деятельности, описываемой этим переходом. После завершения этого этапа ЦСП РВ представляет все элементы, которые составляют моделируемую систему, и все ее действия.

Последний этап связан с разработкой функционального уровня системы. Для этого используются страницы связи и *D*-сети.



**Рис. 4. Типы подсетей:**

*a* – исходные страницы мест; *b* – исходные страницы переходов;  
*c* – страницы связи; *d* – *D*-сети

В статье рассмотрен подкласс сетей Петри ЦСП РВ с целью использования при разработке интеллектуальных систем реального времени. Исходя из опыта применения ЦСП в моделировании введен ряд изменений, которые сделали сети Петри более подходящим для этой цели инструментом.

Обладая многими необходимыми для моделирования сложных систем свойствами, такими как поддержка правил вывода и отображение количественных временных зависимостей, данный аппарат обладает и существенными недостатками. Отсутствие средств представления качественных временных зависимостей и возможности использования временных логик, а также сложное моделирование фактора неопределенности делают его использование как инструмента для ИСППР РВ затруднительным. В целях разрешения этих проблем предложена модификация ЦСП РВ с возможностью поддержки широко используемой интервальной логики Аллена. На основе данного формализма разработан базовый инструментальный, позволяющий создавать модели функционирования сложных систем. Предложена методология разработки крупных динамических интеллектуальных систем управления на основе декомпозиции сетей.

В настоящее время данный аппарат используется на кафедре прикладной математики НИУ МЭИ в научно-исследовательских работах по тематике создания методов, моделей и базовых интегрированных инструментальных средств для конструирования перспективных интеллектуальных систем реального времени типа ИСППР РВ.

#### Библиографический список

- 1 **Еремеев, А.П.** Средства темпорального вывода для интеллектуальных систем реального времени. Интеллектуальные системы : коллективная монография / А.П. Еремеев, И.Е. Куриленко. – М. : Физматлит, 2010. – Вып. 4. – С. 222–252.
- 2 **Вагин, В.Н.** Дедукция и обобщение в системах принятия решений / В.Н. Вагин. – М. : Наука, 1988. – 384 с.

- 3 **Башлыков, А.А.** Экспертные системы поддержки принятия решений в энергетике / А.А. Башлыков, А.П. Еремеев. – М. : Изд-во МЭИ, 1994. – 216 с.
- 4 **Котов, В.Е.** Сети Петри / В.Е. Котов. – М. : Наука, 1984. – 160 с. – С. 150–152.
- 5 **Вагин, В.Н.** Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени / В.Н. Вагин, А.П. Еремеев // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2001. – № 6. – С. 114–123.
- 6 **Поспелов, Д.А.** Логико-лингвистические модели в системах управления / Д.А. Поспелов. – М. : Энергоиздат, 1981. – 232 с.
- 7 **Szpyrka, M.** Integrated approach to modelling and analysis using RTCPnets / M. Szpyrka, T. Szmuc // IFIP International Federation for Information Processing. – 2006. – Vol. 227. – P. 115–120.
- 8 **Jensen, K.** Coloured Petri Nets. Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use / K. Jensen. – 1992–1997. – Vol. 1–3.
- 9 **Allen, J.F.** Maintaining knowledge about temporal intervals / J.F. Allen // Communications of the ACM, 1983. – Vol. 26. – № 11. – P. 832–843.
- 10 Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В.Н. Вагин, Е.Ю. Головина, Н.А. Загорянская, М.Б. Фомина. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Физматлит, 2008. – 712 с.
- 11 **Еремеев, А.П.** Модели представления временных зависимостей в интеллектуальных системах поддержки принятия решений / А.П. Еремеев, В.В. Троицкий // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2003. – № 5. – С. 75–88.
- 12 **Еремеев, А.П.** Средства моделирования на основе темпоральных сетей Петри для интеллектуальных систем поддержки принятия решений / А.П. Еремеев, Ю.И. Королев // XIII национальная конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2012 (Белгород, 16–20 октября 2012 г.): Труды конф. – Т. 3. – Белгород : Изд-во БГТУ, 2012. – С. 105–112.
- 13 **Еремеев, А.П.** Темпоральные модели на основе сетей Петри в задачах разработки интеллектуальных систем / А.П. Еремеев, Ю.И. Королев // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сб. науч. тр. VII-й Междунар. науч.-практ. конф. (Коломна, 20–22 мая 2013 г.). В 3 т. Т. 2. – М. : Физматлит, 2013. – С. 518–528.
- 14 **Szpyrka, M.** Verification of automatic train protection systems with RTCPnets / M. Szpyrka, T. Szmuc // International Conference on Computer Safety, Security and Reliability. – Gdansk, 2006. – № 25. – Vol. 4166. – P. 344–357.
- 15 **Еремеев, А.П.** Конструирование интеллектуальных систем поддержки принятия решения реального времени на основе инструментального комплекса G2 : учеб. пособие / А.П. Еремеев, П.В. Гречкина, Н.В. Чибизова. – М. : Изд. дом МЭИ, 2012 – 92 с.
- 16 **Еремеев, А.П.** Темпоральные сети Петри и их применение в интеллектуальных системах поддержки принятия решений реального времени / А.П. Еремеев, Ю.И. Королев // International Journal «Information models and analyses». – Bulgaria, Sofia : ITHEA, 2013. – Vol. 2. – № 4.

### Bibliography

- 1 **Eremeev, A.P.** Tools of temporal output for intelligent real-time systems. – Intelligent systems : collective monograph / A.P. Eremeev, I.E. Kurilenko. – Moscow : Fizmatlit, 2010. – P. 222–252.
- 2 **Vagin, V.N.** Deduction and generalization in the decision-making systems / V.N. Vagin. – Moscow : Nauka, 1988. – 384 p.
- 3 **Bashlykov, A.A.** Decision-making expert systems in the energy sector / A.A. Bashlykov, A.P. Eremeev. – Moscow : Publishing House of Moscow Power Engineering Institute, 1994. – 216 p.
- 4 **Kotov, V.E.** Petri nets / V.E. Kotov. – Moscow : Nauka, 1984. – 160 p. – P. 150–152.
- 5 **Vagin, V.N.** Some basic principles of construction intelligent decision support systems for real-time / V.N. Vagin, A.P. Eremeev // Proceedings of the Academy of Sciences. Theory and Control Systems. – 2001. – № 6. – P. 114–123.
- 6 **Pospelov, D.A.** Logical-linguistic model in control systems / D.A. Pospelov. – Moscow : Energoizdat, 1981. – 232 p.
- 7 **Szpyrka, M.** Integrated approach to modelling and analysis using RTCPnets / M. Szpyrka, T. Szmuc // IFIP International Federation for Information Processing. – 2006. – Vol. 227. – P. 115–120.
- 8 **Jensen, K.** Coloured Petri Nets. Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use / K. Jensen. – 1992–1997. – Vol. 1–3.
- 9 **Allen, J.F.** Maintaining knowledge about temporal intervals / J.F. Allen // Communications of the ACM, 1983. – Vol. 26. – № 11. – P. 832–843.
- 10 Reliable and believable conclusion in intelligent systems / V.N. Vagin, E.J. Golovin, N.A. Zagoryanskaya, M.B. Fomin. – 2nd ed., rev. and add. – Moscow : Fizmatlit, 2008. – 712 p.
- 11 **Eremeev, A.P.** Time dependence representation models in intelligent decision support systems / A.P. Eremeev, V.V. Troitsky // Proceedings of the Academy of Sciences. Theory and Control Systems. – 2003. – № 5. – P. 75–88.



12 **Eremeev, A.P.** Modeling tools based on temporal Petri nets for intelligent decision support systems / A.P. Eremeev, Y.I. Korolev // Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence with International Participation CAI-2012 (Belgorod, 16–20 October 2012): Proceedings. – Vol. 3. – Belgorod : Publishing House of State Technological University, 2012. – P. 105–112.

13 **Eremeev, A.P.** Temporal model based on Petri nets in the problems of intelligent systems developing. Integrated models and soft computing in artificial intelligence / A.P. Eremeev, Y.I. Korolev // Collection of Scientific Papers VII-th International scientific-practical conference (Kolomna, May 20–22, 2013). In the 3 vol. – Vol. 2. – Moscow : Fizmatlit, 2013. – 496 p. – P. 518–528.

14 **Szpyrka M.** Verification of automatic train protection systems with RTCPnets / M. Szpyrka, T. Szmuc // International Conference on Computer Safety, Security and Reliability. – Gdansk, 2006. – № 25. – Vol. 4166. – P. 344–357.

15 **Eremeev, A.P.** The construction of intelligent decision support systems based on real-time tool set G2: textbook / A.P. Eremeev, P.V. Grechkina, N.V. Chibizova. – Moscow : Publishing House of Moscow Power Engineering Institute, 2012. – 92 p.

16 **Eremeev, A.P.** Temporal Petri nets and their use in the real-time intelligent decision support systems / A.P. Eremeev, Y.I. Korolev // International Journal «Information models and analyses». – Bulgaria, Sofia : ITHEA, 2013. – Vol. 2. – № 4.

УДК 004.81 : 159.942.52

*А.В. Заболеева-Зотова, Ю.А. Орлова, В.Л. Розалиев*

### **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО ТЕЛОДВИЖЕНИЯМ И РЕЧИ<sup>1</sup>**

Автоматизированная обработка информации об эмоциональном состоянии человека является актуальной задачей, решение которой позволило бы решить ряд экономических, социальных и бытовых проблем [1, 2]. Программные комплексы, осуществляющие интеллектуальную обработку потоков видеоданных и речи для психофизиологической оценки состояния людей, необходимы на транспортных узлах (вокзалы, аэропорты, метро), в крупных магазинах и других местах, где требуется анализ поведения человека, в том числе и его эмоциональной составляющей (например, в кабине машиниста, пилота, водителя или диспетчерском центре) [3].

Отсутствие моделей и методов, обеспечивающих адекватную идентификацию эмоциональных реакций по телодвижениям человека, не позволяет пока эффективно автоматизировать этот процесс. Остается актуальной и проблема формального описания проявления эмоций через телодвижения.

В данной работе предложен подход к обработке информации о движениях человека для анализа его эмоционального состояния. Подход основан на использовании понятий нечеткого темпорального высказывания и нечеткого темпорального события [4], методах определения адекватности моделей по критерию истинности нечеткого темпорального высказывания [5].

Вопрос рассмотрения эмоций и практического применения знаний о них все чаще встает в самых разных сферах нашей жизни [3, 6]. В современной теории эмоций положительные и отрицательные эмоции трактуются как противоположные, и человек в каждый данный момент может находиться либо в радостном, либо в грустном эмоциональном состоянии. Корреляция между положительными и отрицательными эмоциями либо обратная, либо близка к нулю. Зависимость между ними однозначно не установлена, но возможными критериями оценки такой зависимости могут быть – возраст, личностные особенности, социальный статус и другие. Однако многие авторы отмечают и наличие сложных эмоций, что, в свою очередь, противоречит первому утверждению. Конечно же, такое деление во многом условно. Например, страх (традиционно считающийся отрицательной эмоцией) имеет положительную составляющую и может приносить удовольствие. А радость может проявляться в форме злодательства, принося такой же вред, как и гнев. Поэтому, чтобы устранить неоднозначность трактовок положительных и отрицательных эмоций, введем следующее разделение. Будем говорить, что существуют эмоции, способствующие повышению психологической энтропии (отрицательные, неуверенные), и эмоции, наоборот, улучшающие конструктивное поведение (положительные, уверенные). При этом под оценкой конструктивного поведения будем понимать выполнение или невыполнение некоторого ранее намеченного действия [6].

Одним из многогранных проявлений эмоций является эмоциональный тон. Эмоциональный тон – это характерное реагирование на отдельные свойства объектов или явлений. Под эмоцией будем понимать субъективное переживание человеком в данный момент своего отношения к чему-либо.

<sup>1</sup> Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 12-07-00266, 12-07-00270, 13-07-00459, 13-07-97042).