



В.М. Левыкин<sup>1</sup>, О.В. Чалая<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, levykinvictor@gmail.com

<sup>2</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, o\_chala@inbox.ru

## МОДЕЛЬ ИЕРАРХИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ В ТЕМПОРАЛЬНЫХ ЗНАНИЯХ

В статье предложена иерархическая модель представления времени, позволяющая формализовать описание темпоральных знаний на нескольких уровнях детализации времени. Модель базируется на парадигме описания таких знаний в форме взаимосвязанных последовательностей событий, происходящих в различных временных потоках. Различия в описании времени для каждого потока определяются свойствами объектов, с которыми происходят указанные события. Модель задает взаимосвязи между потоками времени на основе отношений обобщения и детализации при ограничениях на множество доступных событий в каждом потоке. Модель обеспечивает условия для формирования темпоральных знаний на нескольких уровнях с учетом временной и пространственной (объектной) составляющей.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ, ТЕМПОРАЛЬНЫЕ ЗНАНИЯ, СВОЙСТВА ВРЕМЕНИ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ

### Введение

Одна из важных проблем, которая возникает при создании основанных на знаниях систем, связана с выбором способа представления знаний о происходящих в предметной области процессах. Представление знаний является областью искусственного интеллекта, связанной с документированием знаний в форме, пригодной для хранения и организации логического вывода в интеллектуальных информационных системах [1]. Применимость выбранного представления знаний зависит от его возможности обеспечивать логический вывод с учетом ограничений предметной области, а также оценить их непротиворечивость и полноту.

Основное отличие темпоральных знаний, ключевой признак их темпоральности заключается в учете временных свойств объектов, событий, процессов. Для моделирования темпоральных знаний используются дискретное и интервальное представление времени [2, 3]. Истинность таких знаний определяется лишь в конкретные моменты (либо интервалы) времени. Поэтому формальное их представление обязательно содержит временную переменную, указывающую абсолютные или относительные значения моментов либо интервалов времени. Различные процессы могут выполняться в различных масштабах времени. Последние зависят от решаемых процессом задач и в значительной степени определяются усредненной продолжительностью времени реакции процесса. Значения времени при этом могут оцениваться в как в абсолютных единицах (годы, месяцы, минуты, секунды и т.п.), так и относительных (раньше, позже, в дальнейшем) в зависимости от особенностей рассматриваемой предметной области и типа решаемой задачи.

Иными словами, время в темпоральных знаниях может задаваться на различных уровнях обобщения/детализации. Общее представление времени для предметной области объединяет различные подходы к детализации и потому может быть пред-

ставлено в виде многослойной модели с различными временными константами на каждом уровне [4]. Однако при построении общей модели возникает проблема согласования и преобразования описания времени для различных уровней. В то же время существует практическая необходимость решения данной проблемы для задач интеллектуального анализа процессов (process mining) [5]. Исходные данные для задач анализа представляют собой последовательности событий, для каждого из которых указывается временная метка. События записываются линейно, однако связанные с ними действия отражают поведение объектов, обычно образующих иерархическую структуру. Требования к детализации описания времени для разных уровней иерархии объектов отличаются.

Основные направления исследований в области детализации представления времени связаны с использованием теоретико-множественного подхода [6, 7], при котором задаются подмножества событий с одинаковыми временными параметрами и отношения между этими подмножествами, логического подхода к количественному описанию детализации времени [8–10], и алгебраического подхода для качественного описания «гранул» времени и последующего преобразования между «гранулами» [11–14]. Указанные подходы рассматривают время как линейную либо ветвящуюся последовательность моментов (мгновений) с единым масштабом в одном потоке времени. Однако в ряде задач, связанных, в частности, с интеллектуальным анализом процессов, масштаб времени может изменяться даже на одной временной линии, поскольку детализация времени для различных событий зависит от свойств объектов, с которыми эти события произошли.

Изложенное свидетельствует об актуальности построения иерархических моделей времени, а также методов преобразования таких моделей с учетом свойств объектов предметной области.

## 1. Постановка задачи

Из представленного краткого обзора видно, что при формировании представления темпоральных знаний необходимо учитывать временную составляющую. Время может быть представлено в интервальной или дискретной форме с различной степенью детализации. Следовательно, при представлении знаний необходимо устанавливать взаимосвязи между различными временными фрагментами с учетом их свойств. При задании различных уровней детализации времени такие взаимосвязи позволяют построить иерархию знаний.

Исходя из изложенного, целью статьи является разработка иерархической модели представления времени как элемента темпоральных знаний. Данная модель должна отражать взаимосвязи между темпоральным описанием различных процессов (объектов) предметной области с различной степенью детализации.

Для решения поставленной задачи необходимо рассмотреть особенности мультитемпорального представления знаний о предметной области, адаптировать свойства детализации (грануляции) применительно к мультитемпоральному представлению знаний и определить взаимосвязи между временными фрагментами с учетом указанных свойств.

## 2. Иерархическая модель представления времени как элемента темпоральных знаний

При практическом использовании темпоральных знаний в большинстве случаев учитывается не абсолютное, а относительное положение событий/действий/изменений состояний на временной шкале. Поэтому формирование нескольких уровней детализации времени в общем случае приводит к построению набора временных моделей. Например, для различных задач в одной предметной области могут быть использованы модели представления времени, основанные на использовании:

- относительного положения существенных для организации логического вывода моментов (мгновений) времени;
- относительного положения на временной шкале начальных (конечных) моментов времени для выделенного подмножества событий;
- относительного положения интервалов времени;
- интервалов времени для заданных событий.

Так, первые две модели времени широко используются при алгебраическом описании дискретных процессов (процессов в операционных системах, бизнес-процессов, мультиагентных системах и т.п.).

Последующая пара моделей используется, например, в менеджменте. В частности, широко известные диаграммы Ганта основаны на интервальном представлении времени.

При построении общего представления знаний для предметной области необходимо объеди-

нить отличающиеся, имеющие различную детализацию модели времени для различных задач. Для объединения необходимо формализовать отношения между этими моделями, причем эти соотношения могут быть как количественными, так и качественными. На основе выделенных соотношений необходимо выработать правила перехода от одной модели к другой. При формировании таких правил используем адаптированные из работы [14] свойства гранулярности:

- наличие релевантного к решаемой задаче набора отношений, описывающих временные зависимости в предметной области;
- неразличимость временных отношений, которая подразумевает, что временные параметры любых событий/действий считаются идентичными, если для них не заданы отношения из релевантного набора;
- сокращение количества элементов у связанных множеств событий при переходе от более детального уровня к более общему;
- расширение множеств событий при переходе к описанию на более подробном уровне; под расширением в данном случае понимается дополнение множеств событий более общего уровня событиями более детального уровня;
- разграничение множеств событий одного уровня обобщения с помощью большей детализации времени по отношению к применяемой на данном уровне.

Отметим, что указанное в последнем пункте разделение множеств необходимо для того, чтобы отразить временные ограничения для последовательностей событий. Например, пусть на текущем уровне детализации время считается в часах. Тогда для того, чтобы оценить, завершилось ли выполнение задачи через заданное количество часов, необходимо учитывать время более точно - в минутах, секундах. Иными словами, если задача должна завершиться через 4 часа, то недостаточно оценивать время с точностью  $\pm$  час. Так, при минутной шкале времени мы можем считать своевременным завершение задачи и через 3 час 59,5 минут и, для ряда задач, через 4 час и 1 минуту.

Для решения поставленной в статье задачи адаптируем модель многоуровневого представления темпоральных знаний, основанную на использовании логов – линейных последовательностей событий с заданным отношением следования. Изначально данное отношение задается для каждого следа (трассы) реализации процесса. Лог состоит из набора трасс.

Тогда модель  $i$ -следа лога будем рассматривать как модель Крипке [15], для которой задано только отношение следования (перехода) между элементами:

$$M_i = (U_i, I_i(R), t_0, t(e_{ij}) \in T, e_{ij} \in U_i \mid R = \{\prec\}), \quad (1)$$

где  $U_i \subseteq U$  – непустое множество событий  $e_{ij}$ , составляющих след (трассу) лога;  $I_i$  каждому от-

ношению  $R$  ставит в соответствие подмножество  $I_i(R) \subseteq U_i \times U_i$ , для которого отношение  $<$  является истинным,  $t_0$  – начальный момент времени, в который произошло первое событие, инициирующее дальнейший процесс.

$I(<)$  – отношение перехода определяет последовательность событий для подмножества  $U_i$ :

$$I_i(<) = I_i(R) | ((t' < t'') \Rightarrow \Rightarrow \neg \exists t : e_t' < e_t \vee e_t' < e_{t''}, e_t, e_{t'}, e_{t''} \in U_i) \quad (2)$$

Для начального момента времени  $t_0$  предшествующие события отсутствуют, поэтому выполняется условие (3):

$$I(<, t_0) = I(R, t_0) | ((t_0 < t') \Rightarrow \Rightarrow \neg \exists t : t_0 < t \vee t < t', e_{t_0}, e_t, e_{t'} \in U_i) \wedge (\neg \exists t : t < t_0) \quad (3)$$

Модель многоуровневого представления темпоральных знаний объединяет модели последовательностей событий  $M_i$ , для каждой из которых заданы отдельные временные соотношения  $I_i(R)$ , а также включает отношения упорядоченности  $I_{ij}(R)$  между событиями из различных моделей  $M_i$ .

Между событиями из различных моделей могут быть отношения перехода в случае дискретного представления времени в связываемых временных потоках, а также отношение  $di$  (contains) [3] в том случае, если на одной из последовательностей событий используется дискретное представление времени, а в другом – интервальное. Тогда общее многоуровневое представление темпоральных знаний объединяет различные трассы процесса, а также учитывает взаимосвязи между этими трассами:

$$M = (U, (\bigwedge_i I_i(<, di)) \wedge (\bigwedge_{ij} I_{ij}(<, di), t_0). \quad (4)$$

Модель (4) отражает объединение последовательностей событий (трасс) процесса в предположении, что каждая последовательность происходит в своем масштабе времени. Однако данное условие выполняется не всегда, поскольку временной масштаб может определяться свойствами объектов (агентов, исполнителей), с которыми происходят события. Тогда в одной последовательности могут находиться события, измеряемые в разном масштабе времени и эти события необходимо распределить по разным уровням детализации.

Нарушение данного условия не приводит к изменению модели (4) в целом, но требует доопределения  $I_i$  и  $I_{ij}$ , а также  $U_i$  на основе использования модели иерархии времени.

Исходя из адаптированных свойств гранулярности и с учетом рассмотренной событийной парадигмы представления темпоральных знаний, в модели иерархии времени необходимо определить:

– релевантный набор моментов времени, соответствующий множеству событий на одной временной линии с одним уровнем детализации времени и связанных отношением перехода;

– подмножества событий, относящиеся к различным траекториям, но связанные отношением

неразличимости; отношение неразличимости позволяет разместить события из разных траекторий процесса на одном уровне детализации;

– отношения обобщения/детализации, позволяющие связать последовательности моментов времени на более детальном уровне с меньшим набором моментов на обобщенном уровне (предполагается, что минимальный набор содержит только один момент времени, достаточный – два: начальное и конечное);

– отношения ограничения, позволяющие преобразовывать степень детализации времени на текущем уровне для задания границ интервалов событий.

Рассмотрим элементы модели иерархического представления времени, которая удовлетворяет приведенным требованиям.

Релевантный набор моментов времени  $T_i \subseteq T$  содержит метки  $t_{ij} \in T_i$ , в которых время учитывается с одним уровнем детализации и заданы отношения перехода и неразличимости. Например, метка времени может содержать и минуты и секунды, однако на данном уровне учитываются только минуты. Тогда метки, отличающиеся менее чем на половину минуты, можно считать неразличимыми.

Отношение неразличимости задается через параметры событий. Например, такое отношение может быть задано для моментов возникновения идентичных событий относящихся к различным следам процесса при условии совпадения предшествующих и последующих событий для каждого анализируемого события. Отличия в интервалах времени между предшествующими и последующими событиями задают масштаб для данного отношения.

Отношение ограничения определяется на основе отрицания отношения неразличимости.

Отношение обобщения позволяет представить интервал времени на более низком уровне иерархии в виде отдельного события (либо пары событий) на более высоком уровне. При описании траектории процесса в виде последовательности событий интервал времени может задаваться не только через разность между абсолютными значениями атрибута времени для событий, но и через последовательность событий, включенных в этот интервал:

$$E_k = \{e_{t_0}, \{e_{t_{jk}}\}, e_{t_k}\} | t_0 < t_{jk} < t_k \forall t_{ik}. \quad (5)$$

Используя определение интервала в виде (5) мы можем реализовать отношения обобщения и детализации через установления соответствия между интервалом  $E_k$  на уровне с больше детализацией с начальными и конечными событиями интервала на линии с меньшей детализацией.

Модель иерархического представления времени, содержащая представленные элементы, имеет следующий вид:

$$M^T = (\cup T_i, (\wedge I_i(R) | R = \{\prec, \sim, <\}) \wedge (\wedge I_{ij}(R) | R = \{\in, \subseteq\}), t_{i0}) \quad (6)$$

где  $\prec, \sim, <$  – отношения следования (перехода), неразличимости и ограничения соответственно;  $\in, \subseteq$  – отношения обобщения/детализации для пар событие/множество событий и множество/множество событий соответственно.

### Выводы

В статье предложена модель иерархического представления времени как элемента темпоральных знаний. Модель базируется на процессном описании темпоральных знаний в формате набора взаимосвязанных последовательностей событий. Указанные последовательности могут выполняться в различном масштабе времени. Различия в масштабе времени определяются свойствами объектов, с которыми происходят указанные события.

Модель формализует переход между уровнями детализации времени на основе операторов обобщения и детализации при ограничениях на множество доступных событий на каждом уровне.

В практическом плане предложенная модель обеспечивает условия для моделирования темпоральных знаний на нескольких уровнях с учетом временной и пространственной (объектной) составляющей.

**Список литературы:** 1. *Brachman R.J.* Knowledge Representation and Reasoning [Text] / R.J. Brachman, H.J. Levesque // Amsterdam etc.: Elsevier, 2004. – 381 p. 2. Towards a general theory of action and time [Text] / J. Allen // *ArtifIntell*, 1984. – №23 P.123-154. 3. *Allen J.F.* A common-sense theory of time [Text] / J.F. Allen, P.J. Hayes // *JoshiA(ed) Proceedings of the ninth international joint conference on artificial intelligence (IJCAI'85)*. International joint conferences on artificial intelligence, inc. Morgan Kaufmann San Francisco. – 1985. – P. 528–531. 4. *Michael David Fisher.* Handbook of Temporal Reasoning in Artificial Intelligence [Text] / Michael David Fisher, Dov M. Gabbay, Lluís Vila, Elsevier, 2005. – 750 p. 5. *W.M.P. van der Aalst.* Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes [Text] / W.M.P. van der Aalst. Springer-Verlag, Berlin, 2011. – 352 p. 6. *C. Bettini, X. S. Wang, S. Jajodia, and J-L. Lin.* Discovering Frequent Event Patterns with Multiple Granularities in Time Sequences. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2(10): 222–237, 1998. 7. *C. Bettini, S. Jajodia, and X. S. Wang.* Time Granularities in Databases, Data Mining, and Temporal Reasoning. Springer, Berlin, Germany, 2000. 8. *A. Montanari.* Metric and Layered Temporal Logic for Time Granularity. PhD thesis, University of Amsterdam, Amsterdam, Netherlands, september 1996. 9. *M. Franceschet and A. Montanari.* Branching Within Time: An Expressively

Complete and Elementarily Decidable Temporal Logic for Time Granularity. *Research on Language and Computation*, 1(3-4):229–263, 2003. 10. *M. Franceschet and A. Montanari.* Temporalized Logics and Automata for Time Granularity. *Theory and Practice of Logic Programming*, 4(5-6):621–658, 2004. 11. *Euzenat.* A Categorical Approach to Time Representation: First Study on Qualitative Aspects. In *Proceedings of the IJCAI Workshop on Spatial and Temporal Reasoning*, pages 145–152, 1995. 12. *J. Euzenat.* An Algebraic Approach to Granularity in Qualitative Space and Time Representation. In *Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, pages 894–900, 1995. 13. *J. Euzenat.* Granularity in Relational Formalisms with Application to Time and Space Representation. *Computational Intelligence*, 17(4):703–737, 2001. 14. *Hobbs J.R., Granularity [Text] / J.R. Hobbs // Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Los Angeles, California, 1985. – 432-435 pp. 15. *Kripke S.A.* Semantical Considerations on Modal Logic [Text] / S.A. Kripke // *Acta Philosophica Fennica*. – 1963. – №16 – P. 83-94.

Поступила в редколлегию 7.04.2015

УДК 004.82

**Модель ієрархічного представлення часу в темпоральних знаннях** / В.М. Левикін, О.В. Чала // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал*. – 2015. – № 2 (85). – С. 31–34.

У статті запропоновано ієрархічну модель представлення часу для формалізації темпоральних знань на декількох рівнях деталізації часу. Модель базується на парадигмі опису таких знань у формі взаємопов'язаних послідовностей подій, що відбуваються в різних часових потоках. Відмінності в описі часу для кожного потоку визначаються властивостями об'єктів, з якими відбуваються зазначені події. Модель задає взаємозв'язок між потоками часу на основі відносин узагальнення та деталізації при обмеженнях на множину доступних подій в кожному потоці. Модель забезпечує умови для формування темпоральних знань на декількох рівнях з урахуванням часової і просторової (об'єктної) складової.

Бібліогр.: 15 найм.

UDC 004.82

**Hierarchical representation of the time in the temporal KNOWLEDGE** / V.M. Levykin, O.V. Chala // *Bionics of Intelligence: Sci. Mag.* – 2015. – № 2 (85). – P. 31–34.

The paper proposes a hierarchical model of detail representation of time as a member of temporal knowledge. The model is based on the paradigm of the description of such knowledge in the form of interconnected sequence of events in different time streams. Differences in the description of the time are determined by the properties of objects with which these events occur. The model defines the relationship between the lines of time-based operators of generalization and detail with restrictions on the set of available relations, providing conditions for the simulation of temporal knowledge at several levels taking into account the temporal and spatial (object) component.

Ref.: 15 items.