

14. *Hiroshi Hirano*. Utility of Tomosynthesis with a Flat-panel Detector – Comparison with MSCT, *Medical Now*, 2005, Vol. 57, pp. 16-23.
15. *Grant D.G.* Tomosynthesis: a three-dimensional radiographic imaging technique, *IEEE Trans Biomed Eng.*, 1972, Vol. 19, pp. 20-27.
16. *D'yakonov V.P.* MatLab. Polnyy samouchitel' [MatLab. The full tutorial.]. Moscow: DMK Press, 2012, 768 p.
17. *Porshnev S.V.* Komp'yuternoe modelirovanie fizicheskikh protsessov v pakete MatLab [Computer modeling of physical processes in the package MatLab]. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom, 2003, 592 p.
18. *Sizikov V.S.* Obratnye prikladnye zadachi i MatLab: ucheb. posobie [The reverse applied problems and MatLab: a tutorial]. Saint Petersburg: Izd-vo «Lan'», 2011, 256 p.
19. *Artyom M. Grigoryan, Merughan M. Grigoryan*. Image Processing: Tensor Transform and Discrete Tomography with MATLAB. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013, 466 p.
20. *Zhuravel' I.M.* Kratkiy kurs teorii obrabotki izobrazheniy [A brief course in the theory of image processing]. Available at: <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/47.php>.
21. *Rodzhevs D.* Algoritmicheskie osnovy mashinnoy grafiki [Algorithmic bases of computer graphics]. Moscow: Mir, 1989, 512 p.
22. *Shildt G.* «Si» dlya professional'nykh programmistov [C for professional programmers]. Moscow, 1989.
23. Algoritm Brezenkhema [Algorithm Bresenham]. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Algoritm_Brezenkhema.
24. *Daniil Basmanov*. Brezenkhem i U na strazhe diagonaley [Bresenham, and the guardian of the diagonals]. Available at: <https://habrahabr.ru/post/185086/>.
25. *Khermen G.* Vosstanovlenie izobrazheniy po proektsiyam: Osnovy rekonstruktivnoy tomografii [The restoration of images by projections: the fundamentals of reconstructive tomography]: translation from English. Moscow: Mir, 1983, 352 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.В. Соколов.

Воронков Олег Юрьевич – Научно-технический центр «Техноцентр» Южного федерального университета; e-mail: oleg.voronkov.1985@gmail.com; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: +79508449549; к.т.н.; н.с.

Синютин Сергей Алексеевич – e-mail: ssin@mail.ru; тел.: 88634311143; к.т.н.; кафедра встраиваемых систем; зав. кафедрой.

Voronkov Oleg Yurievich – Scientific and Technical Center “Technocenter” Southern Federal University; e-mail: oleg.voronkov.1985@gmail.com; 81, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +79508449549; cand. of eng. sc.; researcher.

Sinyutin Sergey Alexeevich – e-mail: ssin@mail.ru; phone: +78634311143; cand. of eng. sc.; the department of embedded systems; head of department.

УДК 004.8

DOI 10.23683/2311-3103-2017-6-200-212

Е.С. Стариков, Л.И. Сучкова

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В ДАННЫХ МОНИТОРИНГА В ГИБРИДНЫЙ ПАТТЕРН ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Описывается лингвистический метод формализации экспертных знаний и трансформация экспертного описания закономерностей в гибридный паттерн механизма принятия решений экспертной системы. Приведены особенности разработанного специализированного языка для описания темпоральных событий на объекте мониторинга. Порождающая грамматика языка является модификацией универсальной темпоральной грамматики и позволяет оперировать с нечеткими данными. Модификация заключается в упрощенном описании многоуровневых закономерностей в данных, в предоставлении эксперту возможно-

сти описывать новые алгоритмы обработки временных рядов, а также рассмотрения операций над нечеткими данными. Рассмотрен принцип идентификации состояния объекта контроля с применением матричного паттерна поведения группы временных рядов, приведено краткое описание его компонентов. Показано, что для обеспечения интеграции новых знаний в экспертную систему, основанную на паттернах поведения временных рядов, необходимо осуществить трансформацию лингвистического описания закономерностей, наблюдаемых в данных мониторинга, в паттерн экспертной системы, непосредственно применяемый для принятия решений. Для этой цели разработаны средства лексического, синтаксического и семантического анализа. Для хранения информации об объектах, описываемых с помощью темпоральной грамматики, разработана древовидная структура данных. Она является основой для реализации синтаксически ориентированного перевода в гибридный паттерн. Приведено описание семантической информации, необходимой для осуществления конвертации в паттерн всех объектов, используемых для описания темпоральных закономерностей в данных. Рассмотрен укрупнённый алгоритм конвертации семантических узлов в структуры, входящие в состав гибридного паттерна поведения и пример синтаксически управляемого перевода. Разработанный метод трансформации экспертных знаний в гибридный паттерн позволяет автоматизировать выявление закономерностей в данных и автоматически интегрировать новые знания в экспертную систему.

Лингвистическое описание закономерностей; паттерн поведения; закономерности в данных; термины лингвистических переменных; экспертная система; темпоральная грамматика.

E.S. Starikov, L.I. Suchkova

**TRANSFORMATION OF THE LINGUISTIC DESCRIPTION
OF LEGITIMACIES IN MONITORING DATA IN THE HYBRID PATTERN
OF THE EXPERT SYSTEM**

The linguistic method of formalising the expert knowledge and transformation of the expert description of legitimacies in a hybrid pattern of the mechanism of decision-making in the expert system is described herein. Features of the developed specialised language for describing the temporal events on the monitoring object are resulted. The language generative grammar is modification of universal temporal grammar and allows operating with fuzzy data. Modification consists in the simplified description of multilevel legitimacies in data, in allocation to the expert of possibility to describe new algorithms of processing of time rows, and also considerations of operations over fuzzy data. The principle of identification of an object state of the control with application of a matrix pattern of behaviour of time rows group is considered, the short description of its components is resulted. It is shown, that for support of integration of new knowledge in the expert system grounded on patterns of behaviour of time rows, it is necessary to carry out transformation of the linguistic description of the legitimacies observed in data of monitoring, in the pattern of the expert system directly applied to decision-making. Resources of the lexical, syntactic and semantic analysis are developed for this purpose. For storage of the information on the objects described with temporal grammar using, the tree structure of data is developed. It is a basis for implementation of syntactically oriented translation in a hybrid pattern. The description of the semantic information necessary for realisation of conversion in a pattern of all objects, used for the description temporal legitimacies in data is resulted. The integrated algorithm of conversion of semantic knots in the structures which are a part of a hybrid pattern of behaviour and an example of syntactically controlled translation is considered. The developed method of transformation of expert knowledge in a hybrid pattern allows to automate revealing of legitimacies in data and automatically to integrate new knowledge into the expert system.

The linguistic description of legitimacies; pattern of behavior; legitimacy in data; terms of linguistic variables; the expert system; temporal grammar.

Введение. В современных системах мониторинга данные измерений представляются в виде групп временных рядов (ВР) [1]. Анализ и прогнозирование результатов измерений, полученных с датчиков и программируемых логических контроллеров, осуществляется при помощи экспертных систем (ЭС). Эффективность функционирования экспертных систем зависит от вида представления ин-

формации, алгоритмов анализа и обработки данных, способности накопления и применения знаний для решения поставленных задач [2–4]. Ввиду больших объемов обрабатываемых данных анализ и извлечение новых знаний должны быть автоматизированы, для этого применяются алгоритмы искусственного интеллекта, позволяющие обнаруживать в данных неявные закономерности, выявлять новые аспекты знаний, которые впоследствии могут быть практически применены для принятия решений в информационных и измерительных системах [5–14]. Одним из направлений автоматизации поиска знаний является лингвистическое описание закономерностей в данных экспертом, формализующее экспертные предположения. Так как ВР помимо информационной части содержат составляющую времени, то особую сложность представляет описание экспертное описание именно темпоральных закономерностей, что требует создания специальных формальных средств [15]. При их наличии в режиме обучения системы эксперт описывает закономерности в группах временных рядов и с помощью методов лингвистического анализа описание проверяется на достоверность в накопленном массиве данных.

Недостатком данного подхода является неприменимость лингвистических описаний для онлайн-анализа данных в силу высокой временной сложности интерпретации языковых конструкций.

С другой стороны, для принятия решений в ЭС можно использовать нечеткий матричный паттерн поведения подгруппы временных рядов [16–19], который в общем случае представляет набор следующих компонентов:

$$P = \langle B, \Psi_B, D_B, A, \Psi_A, D_A, D_P \rangle, \quad (1)$$

где B – матрица, содержащая шаблонные данные для группы ВР до текущего момента времени;

Ψ_B – множество функций, формирующих по отсчетам группы ВР элементы матрицы B' , описывающей фактическое состояние контролируемых процессов до текущего момента времени и используемой для сопоставления с элементами матрицы B ;

A – матрица, идентифицирующая состояние контролируемого процесса или описывающая поведение группы ВР после текущего момента времени;

Ψ_A – множество функций, формирующих элементы матрицы A ;

D_B и D_A – дескрипторы матриц B и A соответственно, которые описывают процессы преобразования ВР в B' и A с применением Ψ_B и Ψ_A ;

D_P – дескриптор паттерна [10].

Элементы B и B' представляют собой константы и могут иметь следующие типы:

- 1) Логический (bool) (значения «Истина» (true) или «Ложь» (false));
- 2) Целочисленный (int);
- 3) Вещественный (float);
- 4) Нечеткий (fuzzy);
- 5) Неопределенные (null) значения, служащие для выравнивания числа элементов во всех строках матриц и установления факта отсутствия или неважности данных.

Процесс идентификации состояний объекта контроля с применением нечеткого матричного паттерна поведения заключается в том, что по результатам наблюдений ВР в соответствии с задаваемым дескриптором D_B правилами выполняется расчет элементов B' , которая сравнивается с шаблоном B и, если результат сравнения оказывается положительным (критерий сравнения задается в D_P), то делается вывод о том, что поведение наблюдаемой группы ВР соответствует заданному шаблону случаю и дальнейшее развитие процесса описывается матрицей A .

Достоинством нечеткого матричного паттерна является простота анализа данных, независимость алгоритмов ЭС от ее данных и знаний. Однако проблемой является формирование новых паттернов по историческим данным, отсутствие алгоритмов Data Mining, обеспечивающих формирование новых паттернов при обнаружении новых знаний.

В связи с этим предлагается разработать метод конвертации лингвистического описания темпоральных закономерностей в данных мониторинга в нечеткий матричный паттерн группы ВР, непосредственно использующийся для принятия решений в ЭС.

Цели и задачи. Основная цель исследований состоит в разработке лингвистического метода формализации экспертных знаний в области темпоральных закономерностей в группе ВР и трансформации описания закономерностей в гибридный паттерн механизма принятия решений.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- ◆ разработать специализированный язык для описания темпоральных событий, допускающий последующую конвертацию в гибридный паттерн ЭС;
- ◆ разработать средства лексического, синтаксического и семантического анализа, использующиеся для синтеза паттерна;
- ◆ предложить механизм трансформации экспертного описания закономерностей в данных в гибридный матричный паттерн.

Основная часть. В качестве формальной основы описания закономерностей в данных будем использовать порождающую грамматику, в основе которой лежат естественно-языковые средства описания и операции с нечеткими данными. Такой подход позволит эксперту, обладающему глубокими знаниями в предметной области, описать закономерности в данных и спрогнозировать развитие событий. Описание экспертных предположений о наличии закономерностей предлагается производить на специализированном языке, оперирующем с элементами группы ВР, связанных темпоральными соотношениями. Данный язык описания позволяет оперировать как с четкими значениями измеряемых и вычисляемых параметров технологического процесса и/или мониторинга, так и с лингвистическими терминами с учетом продолжительности их наблюдения при фиксации следования событий за счет обращения к уже обработанным историческим данным. Экспертное описание темпоральных закономерностей на формальном языке создает основу ускорения обнаружения закономерностей в группах временных рядов за счет автоматизации проверки соответствия закономерностей реальным данным измерений с формированием численного критерия соответствия.

Для описания закономерностей предлагается язык, порождаемый модификацией универсальной темпоральной грамматики (UTG), важным аспектом применения которой является возможность оценки состояния контролируемых объектов и прогнозирование динамики их поведения [20–22, 15]. Модификация состоит в упрощении описания многоуровневых закономерностей в данных и предоставлении возможности эксперту описывать новые алгоритмы обработки ВР [23–25].

Грамматика содержит 4 уровня, которые позволяют описывать закономерности в данных:

1. Уровень примитива;
2. Уровень события;
3. Уровень функции;
4. Уровень паттерна.

Первичным уровнем описания закономерностей в данных является уровень примитива. Примитив сопоставляется с данными конкретного ВР, которые могут быть преобразованы к одному из допустимых типов. В экспертных высказываниях допускается оперировать с вещественными, целочисленными, логическими, нечеткими значениями ВР. Для указания на необходимость преобразования отсчетов к требуемому типу используется ключевое слово *like* (как) и имя нужного типа. Нечеткие значения необходимо связывать с лингвистической переменной с заданной функцией принадлежности. Ряд, содержащий четкие данные, может быть преобразован к другому ряду, например, к нечеткому или ряду, содержащему относительные изменения в данных. На уровне примитива отдельные элементы ВР проверяются на достоверность. Примитивы связываются между собой при помощи логических операций И и ИЛИ, образуя таким образом группы временных рядов.

В программной реализации для хранения взаимосвязей внутри группы ВР используется механизм польской инверсной записи (ПОЛИЗ).

На уровне события задаются временные отношения между примитивами и между группами ВР. Различают абсолютные отношения (на протяжении промежутка времени, в привязке к заданному моменту времени) и относительные (перед, после, почти одновременно). Абсолютные представлены конструкциями lasts, fromTo и duration, относительные – before, after, simultaneously.

Уровень функции позволяет задавать выполнение пользовательских алгоритмов над ВР. Функция, реализующая алгоритм, имеет входные и выходные параметры, которые могут представлять собой ВР, собственно для описания работы алгоритма применяются операторы, обрабатывающие данные рядов.

Уровень паттерна описывает шаблон предыстории смены событий в прошлом и события будущего, в простейшем случае рассматривается единственное будущее событие, которое является результатом принятия решения. Для каждого паттерна задаются временные рамки действия, шаг дискретизации наблюдаемого процесса по времени.

После экспертного описания закономерностей в данных предположения о темпоральных закономерностях будут интерпретироваться на исторических данных. После проверки предположений эксперта на архивных данных производится оценка достоверности предположений. При выполнении заданного критерия достоверности экспертные предположения, описанные на формальном языке, необходимо трансформировать в паттерн ЭС для последующего использования в онлайн-режиме.

Для этой цели разработана технология интеграции новых знаний в ЭС, основанная на предварительной оценке экспертных предположений о закономерностях в данных и конвертации новых знаний в форму, удобную для хранения и принятия решений. Общая схема интеграции приведена на рис. 1.

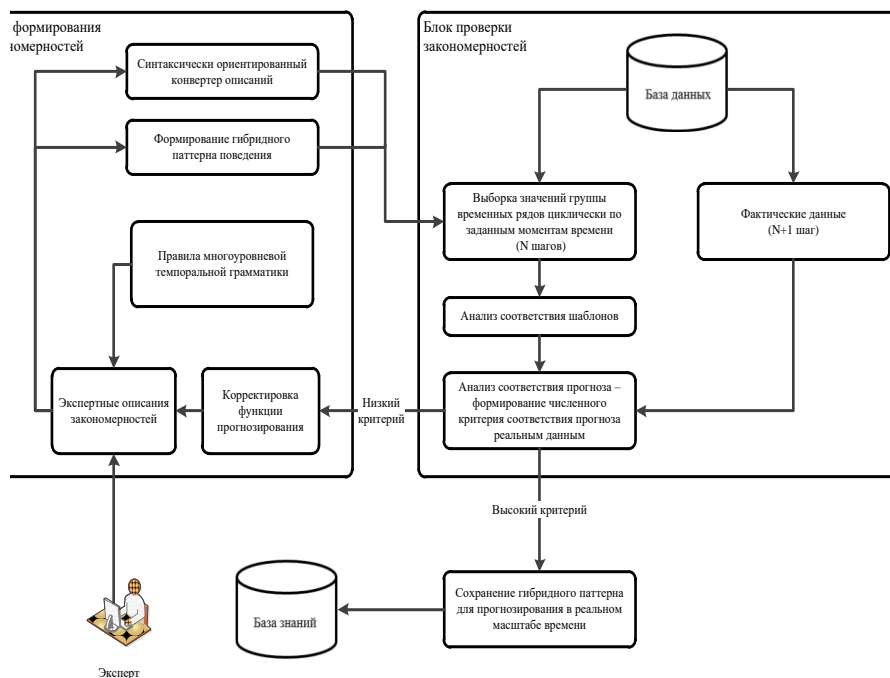


Рис. 1. Схема интеграции нового гибридного паттерна в экспертную систему

Эксперт высказывает свои предположения относительно поведения системы в виде описания закономерностей. Затем описания попадают в блок синтаксически ориентированного конвертора, результатом выполнения которого является формирование гибридного паттерна поведения. После формирования паттерн поступает в блок проверки закономерностей. Если при проверке паттерн показал высокий критерий соответствия, то он попадает в базу знаний экспертной системы, если нет – отправляется на корректировку к эксперту.

В составе системы интеграции нового паттерна спроектирован и реализован конвертор лингвистического описания закономерностей в гибридный паттерн ЭС.

Гибридный паттерн по принципу применения в ЭС идентичен матричному паттерну (1), однако описывающие его компоненты модифицированы с целью упрощения и ускорения анализа данных.

Гибридный паттерн поведения группы ВР включает следующие компоненты:

$$P = \langle Name, D_{Pattern}, D_{Before}, D_{After} \rangle, \quad (2)$$

где Name – наименование паттерна;

$D_{Pattern}$ – дескриптор, описывающий размерность матриц В и А, а так же отношения групп ВР;

D_{Before} – дескриптор, описывающий процесс формирования В, процессы преобразования ВР в матрицу В' и методы их сравнения;

D_{After} – дескриптор, описывающий процесс формирования матрицы А.

Рассмотрим компоненты модифицированного гибридного паттерна более подробно. Дескриптор D_{Before} матриц В и В' одновременно описывает шаблонные значения матрицы В, функции преобразования данных и операции сравнения реальных значений с эталонными. Дескриптор D_{After} также одновременно описывает шаблонные данные с указанием на их возможные преобразования. Дескрипторы D_{Before} и D_{After} хранятся в табличной форме, имеющей одинаковую структуру, представленную в табл. 1.

Таблица 1

Структура таблиц для дескрипторов

Имя ВР	Имя функции	Тип данных	Вид операции	Операнд 1	Операнд 2
<i>ts1</i>	<i>function_1</i>	<i>int</i>	<i>in</i>	<i>10</i>	<i>12</i>
<i>ts2</i>		<i>bool</i>	<i>!=</i>	<i>false</i>	
<i>ts3</i>		<i>fuzzy as LV</i>	<i>>=</i>	<i>высокий</i>	
<i>ts4</i>	<i>function_2</i>	<i>float</i>	<i><</i>	<i>153.6</i>	

Для нечетких значений указывается имя лингвистической переменной (LV), функция принадлежности которой требуется для фаззификации и дефаззификации. В процессе анализа данных ВР может осуществляться приведение типов (табл. 2).

Таблица 2

Приведение типов элементов матриц паттерна

	bool	int	float	fuzzy	null
bool		$y = \begin{cases} 1, x = true \\ 0, x = false \end{cases}$	$y = \begin{cases} 1, x = true \\ 0, x = false \end{cases}$	-	not-defined
int	$y = \begin{cases} true, x \geq 1 \\ false, x < 1 \end{cases}$		$y = x$	фаззификация (x)	not-defined
float	$y = \begin{cases} true, x > 1 \\ false, x \leq 1 \end{cases}$	$y = [x]$		фаззификация (x)	not-defined
fuzzy	-	дефаззификация (x)	дефаззификация (x)		not-defined
null	-	-	-	-	-

Дескриптор паттерна $D_{Pattern}$ описывает темпоральное взаиморасположение групп примитивов из ВР и характеризуется количеством временных шагов в прошлое, будущее, шагом дискретизации по времени и таблицей отношений групп примитивов из дескрипторов D_{Before} и D_{After} . Структура таблицы темпоральных отношений представлена в табл. 3.

Таблица 3

Структура таблицы темпоральных отношений

Тип связи	Группа примитивов 1	Группа примитивов 2	Параметры
fromTo	+	-	от, до
before	+	+	задержка
after	+	+	задержка
simultaneously	+	+	-
duration	+	-	тип операции сравнения, кол-во временных шагов

Рассмотрим принцип работы конвертора описаний более подробно. Конвертор является синтаксически ориентированным, процесс конвертации совмещен с лексическим, синтаксическим и семантическим анализом экспертного описания.

В основе конвертора лежит порождающая модифицированная UTG-грамматика, учитывающая многоуровневость задания закономерностей, возможность прогнозирования путем введения отношений «if past, then future», возможность задания как абсолютных так и относительных временных отношений, возможность оперирования с различными типами данных включая нечеткие данные, а также возможность конструирования экспертом самостоятельно функций обработки временных рядов [16, 25].

Язык, порождаемый данной грамматикой, допускает использование областей видимости, поэтому структура таблицы для хранения семантической информации должна поддерживать блочную структуру описания. В таких случаях принято формировать таблицу в виде бинарного дерева. Свойство упорядоченности позволяет сформировать зависимость описанных в программе данных так, что каждый элемент таблицы представляет собой вершину, левый потомок которой является соседом текущего уровня, а правый соответствует следующему уровню. Правые потомки могут быть, например, у функций. При этом правые потомки функций представляют вложенные параметры и данные, причем первыми в цепочке расположены параметры.

Выделим объекты анализируемого экспертного описания, контекстную информацию о которых необходимо собрать. К ним относятся:

- 1) Паттерн;
- 2) Событие;
- 3) Примитив;
- 4) Функция;
- 5) Переменная;
- 6) Временной ряд.

Соответственно, для каждого типа объекта необходимо создать свой информационный узел в силу уникальности данных каждого типа. Для всех типов узлов обязательными полями в таблице являются идентификатор переменной и ее тип (или ссылка на тип). Кроме обязательных полей в таблице присутствуют дополнительные поля.

Рассмотрим структуру дополнительной информации для объектов экспертного описания.

Паттерн.

Для паттерна необходимо хранить:

- ◆ шаг временной дискретизации;
- ◆ количество отсчетов истории;
- ◆ количество отсчетов прогноза;
- ◆ список идентификаторов событий (event) для истории;
- ◆ идентификатор event для оценки состояния контролируемого процесса или список идентификаторов событий для прогноза.

Событие.

Для события (event) хранится следующая информация:

- ◆ используемый тип события (fromTo, after, before, simultaneously, duration);
- ◆ первый идентификатор примитива;
- ◆ второй идентификатор примитива (при необходимости);
- ◆ границы временного отрезка для типа события fromTo;
- ◆ задержка отношения временных рядов для типов событий after и before;
- ◆ шагов и тип операции для типа события duration.

Примитив.

Для примитива необходимо хранить:

- ◆ идентификатор временного ряда, который преобразовывается;
- ◆ идентификатор функции, используемой для преобразования отсчетов временных рядов;
- ◆ тип данных, в который необходимо преобразовать отсчеты временных рядов для дальнейших операций;
- ◆ имя лингвистической переменной, используемой для фазсификации при указании нечеткого типа данных;
- ◆ тип операции сравнения преобразованных отсчетов временных рядов с эталонными значениями;
- ◆ эталонное значение 1;
- ◆ эталонное значение 2;
- ◆ ПОЛИЗ операций, выполняемых с примитивами временных рядов, объединяющих их в группу.

Функция.

Хранимая информация для пользовательской функции обработки данных:

- ◆ тип данных, возвращаемых функцией;
- ◆ значение, возвращаемое функцией;
- ◆ идентификатор лингвистической переменной, если используемый тип данных – нечеткий;
- ◆ количество параметров функции;
- ◆ указатель на начало тела функции, используемый для интерпретации.

Переменная.

Для переменной хранится:

- ◆ тип переменной;
- ◆ значение;
- ◆ идентификатор лингвистической переменной, если используемый тип данных – нечеткий.

Временной ряд.

- ◆ тип временного ряда;
- ◆ ссылка на список значений временного ряда;
- ◆ идентификатор лингвистической переменной, если используемый тип данных – нечеткий.

Необходимость осуществления трансформации экспертного описания в гибридный паттерн учитывалась при проектировании и реализации семантического анализатора, так как именно этот анализатор отвечает за формализацию экспертных описаний. Семантическое дерево и его узлы построены таким образом, чтобы содержать в себе всю необходимую информацию для синтаксически ориентированного перевода в паттерн ЭС описания закономерностей в данных.

При проектировании порождающей грамматики предложено три уровня абстракции при анализе данных, каждый из уровней определяет свою область характеристик рассматриваемого процесса. Уровень примитива отвечает за качественные и количественные характеристики объекта контроля, по изменению примитивов можно отслеживать изменение свойства объекта, фиксируемого во временном ряду. Уровень события отвечает за темпоральные характеристики и задает периоды или последовательности во времени, когда изменяются свойства объекта. Уровень паттерна отвечает за формирование общих для шаблона характеристик и за группировку событий в рамках отношений «прошлое-будущее».

Синтаксически ориентированный перевод реализован в несколько этапов. Он сводится к преобразованию значений семантических узлов в структуру гибридного паттерна поведения.

Рассмотрим **укрупненный алгоритм** этой конвертации:

1) После завершения синтаксического разбора для уровня паттерна, получается сформированный семантический узел шаблона и узлы связанных с ним событий и примитивов. При этом можно утверждать, что хранящиеся данные корректны, так как прошли через семантические подпрограммы контроля целостности экспертных описаний. Общие характеристики паттерна – шаг дискретизации, количество шагов дискретизации в прошлое и в будущее хранятся непосредственно в самом узле паттерна. Так задаются все компоненты дескриптора $D_{Pattern}$, кроме таблиц. Для формирования таблиц дескриптора и для определения отношения «прошлое – будущее» в узле также хранятся идентификаторы событий, связанных с шаблоном.

2) Поиск событий по идентификатору, связанных с прошлым в области видимости – вверх по семантическому дереву. В узле дерева события хранится следующая информация: тип отношения группы временных рядов, идентификатор первого примитива, идентификатор второго примитива и параметры отношения. Для *FromTo* – это значения отрезка *от* и *до*, для *Before*, *After* – количество шагов возможной задержки, для *Duration* – *тип операции сравнения и эталонное значение продолжительности*. Соответственно, данные поля формируют таблицу темпоральных отношений.

3) Поиск примитивов по идентификатору, указанному в первом и втором полях события – вверх по семантическому дереву. Узел примитива содержит в себе список группы временных рядов и ПОЛИЗ операций над ними. На данном этапе идет дешифровка ПОЛИЗа и формирование списка группы ВР.

Аналогичные этапы присутствуют при разборе отношения будущего (*future*) и формировании таблиц для дескриптора D_{After} .

Пример конвертации лингвистического описания закономерностей в гибридный паттерн приведены на рис. 2.

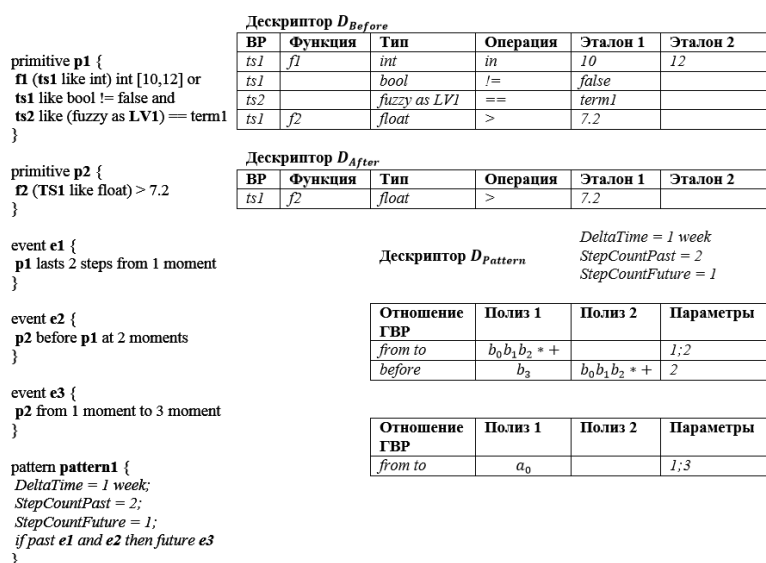


Рис. 2. Пример синтаксически управляемого перевода

В данном примере рассмотрены два ВР ts1 и ts2, для которых описаны примитивы p1 и p2. Примитив p1 требует, чтобы в ВР ts2 наблюдался терм лингвистической переменной LV1, и значение в ВР ts1 было истинным, или значение функции f1, примененной к ВР ts1, принадлежало диапазону [10; 12]. Примитив p2 наблюдается, если значение функции f2, обрабатывающей ВР ts1, будет превышать 7.2. События связывают примитивы темпоральными соотношениями. Если в прошлом одновременно наблюдались события e1, e2, то затем будет наблюдаться событие e3, что описано в паттерне pattern1.

Заключение. Трансформация экспертных знаний в матричный паттерн позволит автоматизировать выявление новых закономерностей в данных и автоматически интегрировать новые знания в ЭС, алгоритмы которой будут независимы от данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. – М.: Мир, 1974. – 406 с.
2. Павлов С.И. Системы искусственного интеллекта: учеб. пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2011. – Ч. 1. – 175 с. – ISBN 978-5-4332-0013-5. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208933>.
3. Batyrshin I., Sheremetov L., Herrera-Avelar R., Suarez R. Mining Fuzzy Association Rules and Networks in Time Series Databases // International Conference on Fuzzy Sets and Soft Computing in Economics and Finance, FSSCEF 2004, St. Petersburg, Russia, 2004.
4. Батыршин И.З., Недосекин А.О., Стецко А.А., Тарасов В.Б., Язенин А.В., Ярушкина Н.Г. Нечеткие гибридные системы. Теория и практика / под ред. Н.Г. Ярушкиной. – М.: Физматлит, 2007. – 207 с.
5. Parsaye K.A. Characterization of Data Mining Technologies and Processes // The Journal of Data Warehousing. – 1998. – No. 1.
6. Ярушкина Н.Г., Афанасьева Т.В., Перфильева И.Г. Интеллектуальный анализ временных рядов: учеб. пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 320 с.
7. Moerchen F., Ultsch A. Mining Hierarchical Temporal Patterns in Multivariate Time Series // In: Biundo, S., Fruhwirth, T., Palm, G. (eds.), KI 2004. Advances in Artificial Intelligence, Proceedings 27th Annual German Conference in AI, Ulm, Germany, Springer, Heidelberg, 2004. – P. 127-140. – URL: <http://www.mybytes.de/papers/moerchen04mining.pdf>.

8. *Guimaraes G., Ultch A.* A method for temporal knowledge conversion // Proc. of the 3rd Int. Symp.on Advances in Intelligent Data Analysys, Amsterdam, Springer. – P. 369-380.
9. *Batyrshin I., Sheremetov L., Herrera-Avelar R., Panova A.* Moving approximation transform and local trend associations in time series databases // Perception-based Data Mining and Decision Making in Economics and Finance. Series: Studies in Computational Intelligence. – Springer, 2007. – Vol. 36. – P. 55-83.
10. *Batyrshin I., Sheremetov L.* Towards perception based time series data mining // in: BISCSE'2005, University of California, Berkeley, USA, 2005. – P. 106-107.
11. *Batyrshin I.Z., Sheremetov L.B.* Perception based associations in time series data bases // Proceedings of NAFIPS, 2006.
12. *Batyrshin I., Sheremetov L.* Perception based time series data mining for decision making // IFSA'07 Theoretical Advances and Applications of Fuzzy Logic. – P. 209-219.
13. *Ковалев С.М.* Модели анализа слабо формализованных динамических процессов на основе нечетко-темпоральных систем // Известия вузов: Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2002. – № 2. – С. 10-13.
14. *Ковалев С.М.* Гибридные нечетко-темпоральные модели временных рядов в задачах анализа и идентификации слабо формализованных процессов // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: Сборник трудов IV международной научно-практической конференции. В 2-х т. Т. 1. – М.: Физматлит, 2007. – 354 с.
15. *Ultch A.* A unification-based grammar for the description of complex patterns in multivariate time series. – Germany, 1996.
16. *Стариков Е.С., Сучкова Л.И., Корешков Ю.Н., Корешкова А.А.* Универсальный подход к описанию и использованию экспертной информации в системах мониторинга на базе паттернов поведения // Ползуновский альманах. – 2015. – № 1. – С. 31-35.
17. *Сучкова Л.И.* Алгоритмическое обеспечение мониторинга нештатных состояний объекта контроля на основе многомерных паттернов // Известия АГУ. – № 1/2/2013. – С. 118-122.
18. *Сучкова Л.И., Чумаков И.А., Якунин А.Г.* Идентификация воздействий в приборах охраны предупреждающего типа: монография. – Deutschland, Saarbrücken, Palmarium Academic Publishing, 2013. – 181 с.
19. *Стариков Е.С., Сучкова Л.И.* Гибридно-лингвистический паттерн как средство описания темпоральных аспектов слабоструктурированных процессов в системах мониторинга // Международное периодическое издание «Научные труды Sworld». № 4/41/2015. – Иваново, 2015. – С. 23-26.
20. *Höppner F.* Discovery of temporal patterns – learning rules about the qualitative behavior of time series // In: Proc. of the 5th European Conference on Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases, Lecture Notes in Artificial Intelligence 2168, Springer, 2001. – P. 192-203.
21. *Ultch A.* Unification Based Temporal Grammar. In: Technical Re-port No. 37, Philipps-University Marburg, Germany, 2004.
22. *Mörchen F., Ultsch A.* Mining Hierarchical Temporal Patterns in Multivariate Time Series. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download>.
23. *Сучкова Л.И., Стариков Е.С.* К вопросу о методе выявления закономерностей в данных мониторинга // Материалы 14 Международной конференции «Измерение, контроль, информатизация». – Барнаул: АлГТУ, 2013. – С. 155-157.
24. *Стариков Е.С.* Формализация описания закономерностей в группах временных рядов // Сборник по результатам XXI заочной научной конференции «Международный научно-исследовательский журнал». – Екатеринбург, 2013. – № 11 (18). – Ч. 1. – С. 131-132.
25. *Starikov E.S., Suchkova L.I.* Modification universal temporal grammar for the description of the legitimacies in data // Academic science-problems and achievements X vol. 1 spc Academic. – USA, North Charleston, 2016. – P. 63-65.

REFERENCES

1. *Boks Dzh., Dzhenkins G.* Analiz vremennykh ryadov. Prognoz i upravlenie [The time series analysis. Prognosis and management]. Moscow: Mir, 1974, 406 p.
2. *Pavlov S.I.* Sistemy iskusstvennogo intellekta: ucheb. posobie [Artificial intelligence system: a tutorial]. Tomsk: Tomskiy gosudarstvennyy universitet sistem upravleniya i radioelektroniki, 2011. Part 1, 175 p. ISBN 978-5-4332-0013-5. Available at: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208933>.

3. Batyrshin I., Sheremetov L., Herrera-Avelar R., Suarez R. Mining Fuzzy Association Rules and Networks in Time Series Databases, *International Conference on Fuzzy Sets and Soft Computing in Economics and Finance, FSSCEF 2004*, St. Petersburg, Russia, 2004.
4. Batyrshin I.Z., Nedosekin A.O., Stetsko A.A., Tarasov V.B., Yazenin A.V., Yarushkina N.G. Nechetkie gibridnye sistemy. Teoriya i praktika [Fuzzy hybrid system. Theory and practice], ed. by N.G. Yarushkinoy. Moscow: Fizmatlit, 2007, 207 p.
5. Parsaye K.A. Characterization of Data Mining Technologies and Processes, *The Journal of Data Warehousing*, 1998, No. 1.
6. Yarushkina N.G., Afanas'eva T.V., Perfil'eva I.G. Intellektual'nyy analiz vremennykh ryadov: ucheb. posobie [Intelligent time series analysis: textbook], Ul'yanovsk: UIGTU, 2010, 320 p.
7. Moerchen F., Ultsch A. Mining Hierarchical Temporal Patterns in Multivariate Time Series, In: Biundo, S., Fruhwirth, T., Palm, G. (eds.), *KI 2004. Advances in Artificial Intelligence, Proceedings 27th Annual German Conference in AI, Ulm, Germany, Springer, Heidelberg, 2004*, pp. 127-140. Available at: <http://www.mybytes.de/papers/moerchen04mining.pdf>.
8. Guimaraes G., Ultsch A. A method for temporal knowledge conversion, *Proc. of the 3rd Int. Symp. on Advances in Intelligent Data Analysis, Amsterdam, Springer*, pp. 369-380.
9. Batyrshin I., Sheremetov L., Herrera-Avelar R., Panova A. Moving approximation transform and local trend associations in time series databases, *Perception-based Data Mining and Decision Making in Economics and Finance. Series: Studies in Computational Intelligence*. Springer, 2007, Vol. 36, pp. 55-83.
10. Batyrshin I., Sheremetov L. Towards perception based time series data mining, in: *BISCSE'2005, University of California, Berkeley, USA, 2005*, pp. 106-107.
11. Batyrshin I.Z., Sheremetov L.B. Perception based associations in time series data bases, *Proceedings of NAFIPS, 2006*.
12. Batyrshin I., Sheremetov L. Perception based time series data mining for decision making, *IFSA'07 Theoretical Advances and Applications of Fuzzy Logic*, pp. 209-219.
13. Kovalev S.M. Modeli analiza slabo formalizovannykh dinamicheskikh protsessov na osnove nechetko-temporal'nykh sistem [Analysis models of weakly formalized dynamic processes based on fuzzy-temporal systems], *Izvestiya vuzov: Severo-Kavkazskiy region. Estestvennye nauki* [University News North-Caucasian Region. Natural Sciences Series], 2002, No. 2, pp. 10-13.
14. Kovalev S.M. Gibridnye nechetko-temporal'nye modeli vremennykh ryadov v zadachakh analiza i identifikatsii slabo formalizovannykh protsessov [Hybrid fuzzy-temporal time series model in the tasks of analysis and identification of weakly formalized processes], *Integrirovannye modeli i myagkie vychisleniya v iskusstvennom intellekte: Sbornik trudov IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Integrated models and soft computing in artificial intelligence: proceedings of the IV international scientific-practical conference]. In 2 vol. Vol. 1. Moscow: Fizmatlit, 2007, 354 p.
15. Ultsch A. A unification-based grammar for the description of complex patterns in multivariate time series. Germany, 1996.
16. Starikov E.S., Suchkova L.I., Koreshkov Yu.N., Koreshkova A.A. Universal'nyy podkhod k opisaniyu i ispol'zovaniyu ekspertnoy informatsii v sistemakh monitoringa na baze patternov povedeniya [Universal approach to description and use of expert information in monitoring systems on the basis of patterns of behavior], *Polzunovskiy al'manakh* [Polzunovsky Almanac], 2015, No. 1, pp. 31-35.
17. Suchkova L.I. Algoritmicheskoe obespechenie monitoringa neshtatnykh sostoyaniy ob"ekta kontrolya na osnove mnogomernykh patternov [Algorithmic support for monitoring abnormal States of the control object on the basis of multidimensional patterns], *Izvestiya AGU* [Izvestiya of Altai State University], No. 1/2/2013, pp. 118-122.
18. Suchkova L.I., Chumakov I.A., Yakunin A.G. Identifikatsiya vozdeystviy v priborakh okhrany uprezhdayushchego tipa: monografiya [Identification of effects of protection type-ahead: monograph]. Deutschland, Saarbrücken, Palmarium Academic Publishing, 2013, 181 p.
19. Starikov E.S., Suchkova L.I. Gibridno-lingvisticheskiy pattern kak sredstvo opisaniya temporal'nykh aspektov slabostrukturirovannykh protsessov v sistemakh monitoringa [Hybrid-linguistic pattern as a means to describe temporal aspects of semistructured processes in monitoring systems], *Mezhdunarodnoe periodicheskoe izdanie «Nauchnye trudy Sworld»* [International periodical "Scientific works Sworld"], No. 4/41/2015. Ivanovo, 2015, pp. 23-26.

20. Höppner F. Discovery of temporal patterns – learning rules about the qualitative behavior of time series, In: *Proc. of the 5th European Conference on Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases, Lecture Notes in Artificial Intelligence 2168*, Springer, 2001, pp. 192-203.
21. Ultsch A. Unification Based Temporal Grammar. In: Technical Re-port No. 37, Philipps-University Marburg, Germany, 2004.
22. Mörchen F., Ultsch A. Mining Hierarchical Temporal Patterns in Multivariate Time Series. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download>.
23. Suchkova L.I., Starikov E.S. К вопросу о методе выявления закономерностей в данных мониторинга [To the question about the method of identifying patterns in data monitoring], *Materialy 14 Mezhdunarodnoy konferentsii «Izmerenie, kontrol', informatizatsiya»* [Proceedings of the 14 International conference "Measurement, control, information"]. Barnaul: AltGTU, 2013, pp. 155-157.
24. Starikov E.S. Formalizatsiya opisaniya zakonornostey v gruppakh vremennykh ryadov [Formalization of the description of regularities in groups of time series], *Sbornik po rezul'tatam XXI zaachnoy nauchnoy konferentsii «Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal»* [Proceedings of the XXI according to the results of the correspondence scientific conference "international research journal"]. Ekaterinburg, 2013, No. 11 (18), Part 1, pp. 131-132.
25. Starikov E.S., Suchkova L.I. Modification universal temporal grammar for the description of the legitimacies in data, *Academic science-problems and achievements X vol. 1 spc Academic*. USA, North Charleston, 2016, pp. 63-65.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н, профессор С.В. Соколов.

Стариков Егор Сергеевич – ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»; e-mail: yegor.inc@live.ru; 656038, г. Барнаул, проспект Ленина, 46; тел.: +79619902171; аспирант.

Сучкова Лариса Иннокентьевна – e-mail: lis@agtu.secna.ru; тел.: +73852290786; кафедра информатики, вычислительной техники и информационной безопасности; д.т.н.; профессор.

Starikov Yegor Sergeevich – Altay State Technical University; e-mail: yegor.inc@live.ru; 46, Lenin prospekt, Barnaul, 656065, Russia; phone: +79619902171; postgraduate student.

Suchkova Larisa Innokentievna – e-mail: lis@agtu.secna.ru; phone: +73852290786; the department of informatics, computer facilities and information security; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 004.4'42

DOI 10.23683/2311-3103-2017-6-212-223

М.Ю. Поленов, В.С. Лапшин, С.М. Гушанский

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДУЛЯ КОНВЕРТАЦИИ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СРЕДЫ MATLAB*

Рассматривается реализация модуля конвертации программных моделей, представленных в формате среды Matlab и на языке программирования C++. Данный модуль и его дополнительные компоненты разработаны на кафедре вычислительной техники Инженерно-технологической академии Южного федерального университета (ЮФУ). На сегодняшний день весьма актуальной является проблема организации взаимодействия программных комплексов моделирования, в которых исследователи ведут свои разработки по созданию программных моделей различных сложных технических систем. Одним из самых востребованных комплексов является среда разработки Matlab. Также, практически каждая современная среда моделирования поддерживает программные модели, реализованные на языке программирования C++. Таким образом, для организации наиболее эффективного процесса разработки программных моделей различных технических систем, исследователям необходимы инструменты, которые

* Работа выполнена в рамках проектной части госзадания Минобрнауки России № 2.3928.2017/4.6 в Южном федеральном университете.