

УДК 004

**КОНТРОЛЬ И АНАЛИЗ ДЕНОТАТИВНЫХ И СИГНИФИКАТИВНЫХ
СЕМАНТИЧЕСКИХ ОШИБОК ДИАГРАММАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОТОКОВ
РАБОТ В ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

© Авторы, 2018

© ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2018

А.Н. Афанасьев, д.т.н., профессор, первый проректор, проректор по ДиДО,
Ульяновский государственный технический университет

E-mail: a.afanasev@ulstu.ru

Н.Н. Войт, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Вычислительная техника»,
Ульяновский государственный технический университет

E-mail: n.voit@ulstu.ru

М.Е. Уханова, аспирант кафедры «Вычислительная техника», Ульяновский
государственный технический университет

E-mail: mari-u@inbox.ru

Статья посвящена авторскому подходу к контролю и анализу потоков проектных работ бизнес-процессов, представленных в виде диаграмм на основе графических языков, таких как eEPC, UML, BPMN, IDEF0 и др. Подход содержит темпоральную грамматику, темпоральный автомат и онтологию и предназначен для сужения семантического разрыва между анализом бизнес-процессов и выполнением бизнес-процессов. Представлен пример контроля и анализа бизнес-процесса согласования конструкторской документации.

Ключевые слова: диаграмматическая модель, поток работ, бизнес-процесс, анализ.

The paper aims at interesting approach to check the workflows of business process. Business processes as workflows are presented as a diagram based on graphical languages such as eEPC, UML, BPMN, IDEF0 and so on. Authors offer the approach, including a temporal grammar, a timed automaton and an ontology, for narrowing the semantic gap between business process analysis and business process execution. Authors proposed to check the structural errors and semantic errors as well. The latter is solved applying the ontological model. In proposed approach 23 errors could be detected and the results are provided in visual form. The approach is illustrated by an example.

Keywords: diagrammatic model, workflow, business process, analysis.

Введение

Поток работ представляет собой трассу выполнения множества задач бизнес-процесса с учетом ограничений и бизнес-событий, содержит временные ограничения и данные, в котором, чтобы избежать сбоев, необходимо определить и исправить ошибки. Хотя ошибки могут возникать в причинно-следственных зависимостях между задачами, в работе акцентируется внимание на семантических ошибках выполнения потока работ, а именно на денотативной и сигнификативной семантике. Денотативная семантика определяет ошибки антонимии, синонимии слов в событиях потока работ. Сигнификативная семантика выявляет конструкционные ошибки потока работ на основе изоморфизма и гомоморфизма трасс. Как правило, прием Ad-hoc [1] в потоке

работ является надстройкой и делает процесс нестрогим (неформализованным), тем самым нарушая канонические правила выполнения процесса. Как следствие выполнение такого потока работ может привести к снижению производительности в проектировании автоматизированных систем, снижению прибыли и расходованию значительного управленческого времени. Таким образом, выявление и устранение ошибок, в том числе денотативных и сигнификативных, в потоках работ имеет важное научно-техническое значение в проектировании автоматизированных систем.

Поток работ должен быть концептуально представлен на формальном языке для анализа и экспертизы перед развертыванием в реальной бизнес-среде. Такое представление также полезно при передаче задач потока работ между проектировщиками, пользователями, инженерами-технологами, менеджерами и техническим персоналом. Кроме того, модели процесса при представлении могут быть проверены с использованием подходов, имеющих соответствующий формальный язык к определению потока работ. Концептуальные представления могут быть выполнены с использованием Workflow Nets (WF-nets), Workflow Graphs, Object Coordination Nets (OCoNs), Adjacency Matrix, Unified Modeling Language (UML) diagrams, Evolution Workflow Approach and Propositional Logic. В настоящее время алгоритмы проверки существуют для WF-nets, Workflow

Graphs, UML diagrams, Propositional Logic and Adjacency Matrix representations.

Причем популярными алгоритмами являются те, которые основаны на WF-nets и Workflow Graphs. WF-nets основаны на сетях Петри, и многие формальные методы анализа сетей Петри были использованы для получения теоретических решений проблем, с которыми сталкиваются при проектировании сетей WF. Хотя многие сложные конструкции языка процессов, которые полезны в бизнес-среде, могут быть реализованы с помощью WF-nets, Workflow Management Council (WfMC) использует только шесть основных конструкций языка процессов. WfMC принял этот подход, чтобы сохранить моделирование очень простым и ясным. До сих пор большинство систем управления рабочими процессами (WfMSs) предоставляют только средства моделирования для проверки моделей рабочих процессов с использованием метода проб и ошибок [2]. Эти инструменты моделирования можно использовать для выполнения подмножества экземпляров потоков работ, чтобы проверить наличие структурных конфликтов, которые могут возникнуть в соответствующих сценариях. Тем не менее потоки работ могут иметь много экземпляров, и задача проверки становится трудновыполнимой для всех экземпляров.

Проверка потоков работ на структурные и семантические ошибки является вычислительной задачей, поэтому для этого можно использовать различные формальные подходы и языки. Однако, подход, принятый для проверки, должен поддерживать язык описания потока работ. Из-за вычислительной сложности задачи (полиномиальной, экспоненциальной) только немногие подходы успешно справляются с проверкой потоков работ с учетом ограничений, в том числе и временных, для всех видов графов потоков работ.

Наглядная (в виде диаграмм) форма представления бизнес-процессов призвана помочь проектировщикам при разработке и анализе проектных решений, конструкторской подготовке производства, технологической подготовке производства с помощью логических рассуждений по конкретным сложным бизнес-процессам. Многие системы управления потоками проектных работ разработаны под разные парадигмы и имеют в научном плане закрытые исследования и применения [2]. Как правило, методы делятся на моделирующие и не моделирующие [3]. К не моделирующим методам относятся диаграммы активности UML, WPD, BPMN, в которых нет механизмов и свойств для анализа. К моделирующим – сети Петри (как наиболее яркий представитель), π -исчисления (π -calculus). В настоящее время π -исчисление является перспективной, но еще очень молодой и развивающейся теорией, в ней много

открытых вопросов и нерешенных проблем. Сети Петри имеют следующие ограничения: нет универсального фрейворка для моделирования и анализа потоков проектных работ на базе сетей Петри. Для того, чтобы анализировать различные свойства (живость, достижимость, безопасность), потоки работ моделируются в разных типах сетей Петри, что является приемом Ad-hoc; нет механизма, который помог бы проектировщику при моделировании и обеспечил успешное завершение задачи с необходимыми требованиями (свойствами).

Научно-техническая проблема, имеющая важное хозяйственное значение

Фундаментальной научной проблемы является повышение эффективности обработки диаграмматических моделей потоков проектных работ автоматизированных систем с целью сокращения временных затрат на их разработку, повышение успешности обработки диаграмматических моделей потоков проектных работ, а именно выполнение требования к ресурсным ограничения, функционалу, финансовой составляющей и срокам исполнения, а также повышение качества диаграмматических моделей в плане контроля ошибок, сужения семантического разрыва между анализом бизнес-процессов и их выполнением. Проблема в техническом плане представлена в работе [4]. Данная работа вносит вклад в разрешение научно-технической проблемы новым грамматико-алгебраическим подходом к контролю и анализу денотативных и

сигнификативных семантических ошибок диаграмматических моделей потоков проектных работ, приблизив решение к оптимуму. Поскольку согласно работе [5] невозможно формально определить, что означает «полное отсутствие ошибок» в диаграмматических моделях потоков проектных работ, то под оптимумом понимается контроль и анализ всех известных ошибок динамических моделей потоков работ, включая синтаксические (структурные), семантические (денотативные, сигнификативные и квантовые), а также контроль топологических событий, имен и др. (в работе представлено 23 класса ошибок). В работах авторов [6-10] рассматриваются подходы и методы контроля, анализа и моделирования бизнес-процессов.

Темпоральная RVTI-грамматика, темпоральный автомат, онтология

Темпоральной RVTI-грамматикой языка $L(G)$ называется упорядоченная восьмерка непустых множеств $G = (V, \Sigma, \tilde{\Sigma}, C, E, R, \tau, r_0)$, где $V = \{v_e, e = \overline{1..L}\}$ – вспомогательный алфавит (алфавит операций над внутренней памятью, представленный магазином или эластичной лентой); $\Sigma = \{(a_l, t_l), l = \overline{1..T}\}$ – алфавит событий (мгновений), состоящий из пары графического символа (объекта) и временной метки t_l ; $\tilde{\Sigma} = \{(a_n, t_n), n = \overline{1..T}\}$ – квазитерминальный алфавит, являющийся расширением терминального алфавита Σ ; $C = \{c_i, c_i = c_i + t_{i-1}, i = \overline{1..N}\}$ –

множество идентификаторов часов (счетчики), причем начальное значение $c_i = 0$; E – множество темпоральных отношений вида $\{c_i \sim t_l\}$, где переменная c_i (идентификатор часов), отношение $\sim \in \{=, <, \leq, >, \geq\}$; $R = \{r_i, i = \overline{0, I}\}$ – схема грамматики G (множество имен комплексов продукций, причем каждый комплекс r_i состоит из подмножества P_{ij} продукций $r_i = \{P_{ij}, j = \overline{1, J}\}$); $\tau = \{t_l \in [0; +\infty], l = \overline{1, T}\}$ – множество временных меток, причем $c_i \in \tau \times \sim \times \tau$; $r_0 \in R$ – аксиома RVTI-грамматики (имя начального комплекса продукций), $r_k \in R$ – заключительный комплекс продукций. Продукция $P_{ij} \in r_i$ имеет вид $(a_l, t_l) \xrightarrow{\{W_\gamma(v_1, \dots, v_n)E\}} r_m$, где $W_\gamma(v_1, \dots, v_n)$ – n -арное отношение, определяющее вид операции над внутренней памятью в зависимости от $\gamma = \{1, 2, 3\}$ (1 – запись, 2 – чтение, 3 – сравнение); (a_l, t_l) – слова в виде пары события и временной метки; $r_m \in R$ – имя комплекса продукции-преемника. Язык данной грамматики содержит слова вида (a_l, t_l) и представляет трассу $\sigma = \{a_0, 0\} \rightarrow \{a_l, t_l\} \rightarrow \{a_k, t_T\}$.

Темпоральный автомат *TimedAutomaton* представлен системой из восьми элементов и имеет следующий вид: $TimedAutomaton = (V, \Sigma, C, E, \delta, S_0, S, S_k)$, где $V = \{v_e, e = \overline{1, H}\}$ – алфавит операций над внутренней памятью, представленный магазином или эластичной лентой; $\Sigma = \{(a_l, t_l), l = \overline{1, T}\}$ – алфавит событий

(мгновений), состоящий из пары графического символа (объекта) и временной метки t_i ; $C = \{c_i, c_i = c_i + t_{i-1}, i \in N\}$ – множество идентификаторов часов (счетчики), причем начальное значение $c_i = 0$; E – множество темпоральных отношений вида $\{c_i \sim t_i\}$, где переменная c_i (идентификатор часов), отношение $\sim \in \{=, \langle, \leq, \rangle, \geq\}$; t_i является константой; $S = \{S_i, i = \overline{0, I}\}$ – множество состояний, $S_0 \in S$ – начальное состояние, $S_k \in S$ – заключительное состояние; функция перехода $\delta: S_i \times (a_i, t_i) \xrightarrow{\{W_\gamma(v_1, \dots, v_n)E\}} S_m$, где $W_\gamma(v_1, \dots, v_n)$ – n -арное отношение, определяющее вид операции над внутренней памятью в зависимости от $\gamma = \{0, 1, 2, 3\}$ (0 – ничего не выполняется, 1 – запись, 2 – чтение, 3 – сравнение); $v_1, \dots, v_n \in V$; $S_m \in S$ – имя состояния-приемника. Онтология представлена следующим образом:

$$O = (\textit{Class}, \textit{Property}, \textit{Relation}, \textit{Axiom}), \quad (1)$$

где *Class* – множество понятий (классов), определенных для конкретной предметной области; *Property* – множество свойств понятия; *Relation* – множество базовых отношений и семантических связей, определенных между понятиями в *Class*. Множеством базовых отношений являются: синонимия, разновидность чего-либо, часть чего-либо (*f*), экземпляр чего-либо, свойство чего-либо (*property_of*); *Axiom* – множество аксиом. Аксиома – это реальный факт или правило, определяющее причинно-следственную связь.

Базис отношений экземпляра онтологии для рис. 1 содержит: запись, чтение и сравнение. Аксиомами будут являться виды операций над внутренней памятью. Перечень ошибок, обнаруживаемых в диаграмматических моделях потоков проектных работ представлен ниже. Описание сути ошибок с 1 по 19 дано в работах [11-18]. Классы синтаксических и семантических ошибок: 1. Циклическая связь; 2. Взаимоисключающие связи; 3. Множественная связь; 4. Ошибка удаленного контекста; 5. Ошибка передачи управления; 6. Ошибка кратности входов; 7. Ошибка кратности выходов; 8. Недопустимая связь; 9. Ошибка связи; 10. Ошибка уровня доступа; 11. Ошибка передачи сообщения; 12. Ошибка делегирования управления; 13. Количественная ошибка элементов диаграммы; 14. Исключающие связи неверного типа; 15. Вызов направленный в линию жизни объекта; 16. Оборванная связь; 17. Нарушение кратности зависимостей; 18. Взаимоисключающие связи; 19. Синхронный вызов до получения ответа;

Классы денотативных и сигнификативных семантических ошибок:

20. Большая синонимия (денотативная ошибка): темпоральные слова (a_l, t_i) и (a_k, t_j) являются синонимами тогда и только тогда, когда $a_l \neq a_k, a_l \equiv a_k, t_i < t_j$. Будем обозначать их как $(a_l, t_i) \equiv (a_k, t_j)$. Под высокой синонимией в диаграмматических моделях будем понимать интенсивное использование

синонимов μ . Признак ошибки «Большая синонимия»:

$$\lim_{\substack{i,j \in N \\ l,k \in N}} \left[\frac{1}{\mu(\neg((a_l, t_l) \equiv (a_k, t_k)))} \right] \rightarrow \infty.$$

21. Антонимия объектов (денотативная ошибка): темпоральные слова (a_l, t_l) и (a_k, t_k) являются антонимами тогда и только тогда, когда $a_l = -a_k, t_l < t_k$. Будем обозначать их как $(a_l, t_l) \equiv (-a_k, t_k)$. Под антонимией объектов в диаграмматических моделях будем понимать интенсивное использование антонимов. Как правило, *Начало* и *Конец* в диаграмматике является антонимами.

22. Конверсивность отношений (сигнификативная ошибка);

Заключается в наличие противоположных отношений темпоральных слов.

23. Несогласованность объектов (сигнификативная ошибка).

Заключается в отсутствии отношения между темпоральными словами.

Пример модели согласования конструкторской документации (КД)

Для построения модели конструкторско-технологических потоков работ выделим одну из задач конструкторской подготовки производства: рассмотрим типовую процессную модель согласования конструкторской документации детально. Для построения модели спроектирован бизнес-процесс разработки и согласования КД, определены правила формирования комплекта КД, выделены задания и определены их исполнители. В качестве инструмента для

проектирования модели потока работ, использовано специализированное программное обеспечение Workflow Designer Системы управления проектами работ (СУПР), разработанное РЦ Аскон-Волга. Построена последовательность прохождения заданий, разработаны скрипты для изменения состояний документов в процессе согласования и заполнения атрибутов согласования в Лоцман:PLM. На рис. 1 представлена модель потока работ разработки и согласования КД на специализированном языке СУПР.

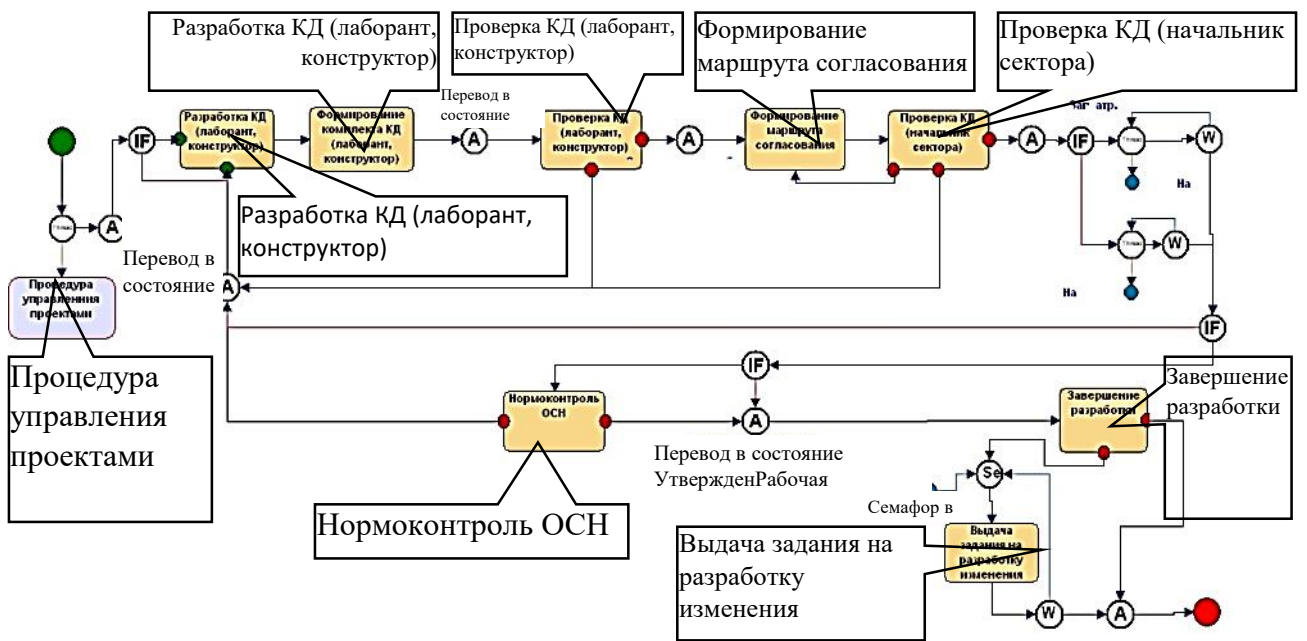

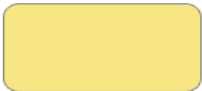
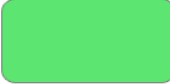









Рис. 1. Модель конструкторского согласования КД на специализированном языке компании АСКОН-Волга

Для визуализации потоков работ в виде диаграмм программных продуктов фирмой АСКОН разработан специализированный визуальный язык, позволяющий организовать вложенность процессов за счет нескольких

элементов, представляющих собой свернутый подпроцесс. В языке поддерживается создание параллельных потоков. Контроль таких потоков возможен с помощью двух элементов «Событие» и «Семафор», которые работают в паре с элементом «Ожидание» и дополнительным типом связи «Синхродействие». Используется элемент «Фантом», который позволяет соединять части диаграммы на разных уровнях вложенности. В таблице 1 показан ряд графических элементов языка, в таблице 2 соответствие графических элементов нотации с квазитермами.

Таблица 1. Элементы специализированного языка АСКОН

Название графического элемента	Графический элемент нотация	Описание, особенности
Процедура		Свернутый подпроцесс, который возможно вызывать многократно. Имеет только одну входящую связь типа «Перейти в процедуру»
Задание		Свернутый подпроцесс, действие в котором обязательно к выполнению пользователем
Итерация		Свернутый подпроцесс, выполнение которого требуется многократно
Вызов процедуры		Используется совместно с "перейти в процедуру" и блоком "процедура"
Создание потока		Используется совместно с "перейти в процедуру" и блоком "процедура"
Нетранзит		Операция, выполняемая пользователем
Скрипт (Автооперация)		
Ветвление		Имеет только две исходящие связи. True и false соответственно
Фантом		Позволяет соединять части диаграммы на разных уровнях вложенности. По сути является связью
Событие		Используется совместно с «Ожидание». Три входящих, одна из них «Синхродействие», оповещающая о выполнении события.

Название графического элемента	Графический элемент нотация	Описание, особенности
Семафор		Используется совместно с «Ожидание». Три входящих, одна из них «Синхродействие», оповещающая о начале и завершении выполнения событий.
Активировать		Имеет две исходящих ветви, одна из них «Синхродействие», оповещающая «Событие» об успешном завершении события
Ожидание		Имеет две исходящих ветви, одна из них «Синхродействие», следящая за статусом выполнения события. Пропускает поток только в случае успешного завершения события
Инкремент		Имеет две исходящих ветви, одна из них «Синхродействие», оповещающая «Семафор» о начале исполнения события
Декремент		Имеет две исходящих ветви, одна из них «Синхродействие», оповещающая «Семафор» о завершении исполнения события

В таблице 3 приведена разработанная автоматная темпоральная RVTI-грамматика языка, позволяющая провести анализ структуры диаграмм указанного языка и выявить 1-19 классы ошибки, остальные 4 класса ошибки определяются с помощью онтологии.

Таблица 2. Соответствия графических элементов нотации с квазитермами

Название графического элемента нотации	Квазитерм	Описание, особенности
Процедура	vPR	Подграмматика для процедуры
Задание	vA	Подграмматика для задания
Итерация	vIT	Подграмматика для итерации
Точка входа	A0	
Точка выхода	Ak	Одна входящая связь
	Akm	Много входящих связей
	_Akm	Проанализированы не все входящие связи
	Akme	Проанализированы все входящие связи
Вызов процедуры	CL	
Создание потока	TH	
	THa	После входящей Синхродействие
Скрипт (Автооперация)	SC	Одна входящая связь
	SCm	Много входящих связей
	_SCm	Проанализированы не все входящие связи
	SCme	Проанализированы все входящие связи

Название графического элемента нотации	Квазитерм	Описание, особенности
Ветвление	C	
	labelC	
Фантом	PHsp	Фантом с исходящей связью "Перейти в процедуру"
	PHep	Фантом с входящей связью "Перейти в процедуру"
	PHsa	Фантом с исходящей связью "Синхродействие"
	PHea	Фантом с входящей связью "Синхродействие"
	Phsai	Фантом с исходящей связью "Синхродействие", идущей от элемента "инкремент" или "активировать"
	Pheai	Фантом с входящей связью "Синхродействие", идущей от элемента "инкремент" или "активировать"
	Phsad	Фантом с исходящей связью "Синхродействие", идущей от элемента "декремент"
Событие	EV	Используется совместно с "ожидание". Три входящих, две из них Синхродействие
	EVa	Переход к элементу по входящей Синхродействие
Семафор	S	Используется совместно с "ожидание". Три входящих, две из них Синхродействие
	Sa	Переход к элементу по входящей Синхродействие
Активировать	F	Две исходящих, одна из них синхродействие
Ожидание	W	Две исходящих, одна из них синхродействие
Инкремент	IN	Две исходящих, одна из них синхродействие
Декремент	D	Две исходящих, одна из них синхродействие
Перейти	rel	
Перейти, если нет	nrel	
Перейти в процедуру	prel	
Синхродействие	arel	
	airel	После элемента "инкремент"
	adrel	После элемента "декремент"
Возврат из подпроцесса	return	
	no_label	

Таблица 3. Темпоральная RVTI-грамматика языка АСКОН

Комплекс-источник	Квазитерм	Комплекс-приемник	Операция с памятью
r_0, t_0	A_0	r_3, t_3	\emptyset / E
r_1, t_1	return	r_2, t_4	$w_2(b^{4m})$
r_2, t_2	vA	r_1, t_1	$w_1(s^{1m}, t^{4m}), CALL vA/E$
	vIT	r_1, t_1	$w_1(s^{1m}, t^{4m}), CALL vIT/E$
	Ak	r_4, t_4	\emptyset

Комплекс-источник	Квазитерм	Комплекс-приемник	Операция с памятью
	Akm	r ₅ ,t ₅	w ₁ (1 ^{t(1)} ,i ^{t(2)})/w ₂ (e ^{t(1)})/E
	_Akm	r ₅ ,t ₅	w ₁ (inc(m ^{t(1)}))/w ₃ (m ^{t(1)} <k ^{t(2)} -1),E
	Akme	r ₄ ,t ₄	w ₁ (inc(m ^{t(1)}))/w ₃ (m ^{t(1)} =k ^{t(2)} -1),E
	CL	r ₆ ,t ₆	w ₁ (t ^{4m})
	ГН	r ₆ ,t ₆	w ₁ (1 ^{t(7)} , i ^{t(8)} , t ^{4m})
	SC	r ₃ ,t ₃	∅
	SCm	r ₅ ,t ₅	w ₁ (1 ^{t(3)} ,i ^{t(4)})/w ₂ (e ^{t(3)}),E
	_SCm	r ₅ ,t ₅	w ₁ (inc(m ^{t(3)}))/w ₃ (m ^{t(3)} <k ^{t(4)} -1),E
	SCme	r ₃ ,t ₃	w ₁ (inc(m ^{t(3)}))/w ₃ (m ^{t(3)} =k ^{t(4)} -1),E
	C	r ₇ ,t ₇	w ₁ (t ^{2m})
	EV	r ₃ ,t ₃	w ₁ (0 ^{t(5)} , 0 ^{t(9)} ,0 ^{t(11)})/w ₂ (e ^{t(5)}),E
	S	r ₃ ,t ₃	w ₁ (0 ^{t(6)} , 0 ^{t(10)} ,0 ^{t(12)})/w ₂ (e ^{t(6)}),E
	F	r ₁₁ ,t ₁₁	w ₁ (t ^{3m})
	W	r ₉ ,t ₉	w ₁ (t ^{3m})
	IN	r ₁₁ ,t ₁₁	w ₁ (t ^{3m})
	D	r ₁₂ ,t ₁₂	w ₁ (t ^{3m})
r ₃ ,t ₃	rel	r ₂ ,t ₂	∅
r ₄ ,t ₄	no_label	r ₁₇ ,t ₁₇	*
r ₅ ,t ₅	labelC	r ₂ ,t ₂	w ₂ (b ^{2m})
r ₆ ,t ₆	prel	r ₁₃ ,t ₁₃	∅
r ₇ ,t ₇	nrel	r ₂ ,t ₂	∅
r ₈ ,t ₈	PHsp	r ₆ ,t ₆	∅
r ₉ ,t ₉	arel	r ₁₄ ,t ₁₄	∅
r ₁₀ ,t ₁₀	PHsa	r ₉ ,t ₉	∅
r ₁₁ ,t ₁₁	airel	r ₁₅ ,t ₁₅	∅
r ₁₂ ,t ₁₂	adrel	r ₁₆ ,t ₁₆	∅
r ₁₃ ,t ₁₃	vPR	r ₁ ,t ₁	w ₁ (s ^{1m}), CALL(vPR)/E
	PHep	r ₈ ,t ₈	∅
r ₁₄ ,t ₁₄	ГHa	r ₂ ,t ₂	w ₁ (inc(m ^{t(7)}))/w ₃ (m ^{t(7)} <k ^{t(8)}),E
	PHea	r ₁₀ ,t ₁₀	∅
	EVa	r ₂ ,t ₂	w ₁ (1 ^{t(9)}), w ₂ (b ^{3m})
	Sa	r ₂ ,t ₂	w ₁ (1 ^{t(10)}), w ₂ (b ^{3m})
r ₁₅ ,t ₁₅	EVa	r ₂ ,t ₂	w ₁ (inc(m ^{t(5)}), 1 ^{t(11)}), w ₂ (b ^{3m})
	Sa	r ₂ ,t ₂	w ₁ (inc(m ^{t(6)}), 1 ^{t(12)}), w ₂ (b ^{3m})
r ₁₆ ,t ₁₆	Sa	r ₂ ,t ₂	w ₁ (dec(m ^{t(6)}), 1 ^{t(12)}), w ₂ (b ^{3m})

Поскольку онтология является совокупностью схем описания предметной области и правил отнесения данных к этой предметной области, а выделение онтологии является описания схемы предметной области, характеризующейся

определенной логической структурой, то с использованием семантического анализа диаграмматических моделей и набора написанных правил осуществляется наполнение выделенной онтологии. Логическая форма представления онтологии структурирована, поэтому к наполняющим ее данным применима реляционная алгебра. По экземпляру диаграмматической модели (рис. 1) можно построить онтологию, классы которой являются словами (концептами) и имеют следующий вид: $Class_0 = (r_0, t_0), \dots, Class_{17} = (r_{17}, t_{17})$, где пара (r_i, t_i) является темпоральным словом. Согласно формуле 1 класс имеет свойства, которые для данного пример представим следующим образом:

$Property = \{Name, OrientationTime, ProcessingTime\}$, где *Name* – имя поля (наследуется от имени нотации диаграмматической модели); *OrientationTime* – время начала потока; *ProcessingTime* – длительность потока. Экземпляры записи *Property* для классов, извлеченные из темпоральных слов с квазитермами v_{PR} и v_A , имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
 Property_{v_{PR}} &= \{Процедура управления проектами, 0, 1\}, \\
 Property_{v_{A1}} &= \{Разработка КД (лаборант, конструктор), 1, 1\}, \\
 Property_{v_{A2}} &= \{Формирование комплекта КД (лаборант, конструктор), 2, 1\}, \\
 Property_{v_{A3}} &= \{Проверка КД (лаборант, конструктор), 3, 1\}, \\
 Property_{v_{A4}} &= \{Формирование маршрута согласования, 4, 1\}, \\
 Property_{v_{A5}} &= \{Проверка КД (начальник сектора), 5, 1\},
 \end{aligned}$$

$Property_{vA6} = \{Нормоконтроль\ ОСН, 6, 1\}$, $Property_{vA7} = \{Завершение\ разработки, 7, 1\}$,
 $Property_{vA8} = \{Выдача\ задания\ на\ разработку\ изменения, 8, 1\}$.

Разработанная авторская компьютерная программа [19] выполнила контроль и анализ диаграмматической модели (рис. 1) на наличие ошибок с 1 по 23 класс и вывела результат, что данная диаграмматическая модель не имеет ошибок из указанного перечня.

Заключение

Разработан подход к контролю и анализу потоков проектных работ бизнес-процессов на наличие 23 классов ошибок, в том числе 2 денотативных и 2 сигнификативных согласно перечню классов ошибок. Контролируются и анализируются не только структурные ошибки, но и семантические ошибки, что отличает работу от существующих. Предложенная авторами темпоральная RVTI-грамматика имеют линейную характеристику времени анализа потоков работ, учитывает язык описания процесса и может быть применена для любой диаграммы. Временной автомат позволяет выполнить имитационно моделирование (симуляцию) процесса в наглядной форме. Онтологическая модель является основной для анализа на денотативные и сигнификативные ошибки потоков работ. Авторами доработан перечень структурных и семантических ошибок, встречающихся в потоках работ. В будущих работах авторы предполагают увеличить число примеров применения подхода в

промышленности, обучении, кибер-физических системах, при разработке автоматизированных систем, а также формально описать признаки сигнификативных семантических ошибок диаграмматических моделей потоков проектных работ. Исследования поддержаны грантом Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 2.1615.2017/4.6. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области в рамках научного проекта № 16-47-732152. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-07-01417.

Литература

1. Workflow Handbook 2005 / Layna Fischer (edit or) // Workflow Management Coalition, 2005.
2. Henry. H. Bi and J. Leon Zhao. Applying Propositional Logic to Workflow Verification // Information Technology and Management, 2004, vol. 5(3-4), pp. 293–318.
3. Yuan Wang, Yushun Fan. Using Temporal Logics for Modeling and Analysis of Workflows // Proceedings of E-Commerce Technology for Dynamic E-Business, 2004. IEEE International Conference on, 2004. doi: 10.1109/CEC-EAST.2004.72
4. WhiteStein Thechnologies. <https://www.whitestein.com/lsp-solutions/manufacturing> (дата обращения: 25.05.2018)
5. Карпов Ю. Г. MODEL CHECKING. Верификация параллельных и распределенных программных систем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 560 с.

6. *Афанасьев А.Н., Войт Н.Н.* Грамматико-алгебраический подход к анализу и синтезу диаграмматических моделей гибридных динамических потоков проектных работ // Информационно-измерительные и управляющие системы. - 2017. - №12. - С. 69-78. URL: <http://www.radiotec.ru/article/20138> (дата обращения: 25.05.2018)
7. Верификация программы и темпоральные логики. URL: <http://logic.pdmi.ras.ru/~yura/modern/034.pdf> (дата обращения: 25.05.2018)
8. *Калянов Г.Н.* Моделирование, анализ, реорганизация и оптимизация бизнес-процессов / Учебное пособие. — М.: Финансы и статистика, 2006. - 240 с. URL: <http://www.twirpx.com/file/2204790/> (дата обращения: 13.11.2017)
9. *Saeedloei N., Gupta G.* Timed definite clause omega-grammars //LIPIcs-Leibniz International Proceedings in Informatics. – Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik, 2010. – Т. 7.
10. *Wang Y., Fan Y.* Using temporal logics for modeling and analysis of workflows //E-Commerce Technology for Dynamic E-Business, 2004. IEEE International Conference on. – IEEE, 2004. – С. 169-174.
11. Афанасьев, А.Н. *Анализ и контроль диаграмматических моделей при проектировании сложных автоматизированных систем* / Афанасьев А.Н., Шаров О.Г., Войт Н.Н. – Ульяновск: УлГТУ, 2016. – 125 с.
12. *Afanasyev A., Voit N., Gaynullin R.* The Analysis of Diagrammatic Models of Workflows in Design of the Complex Automated Systems //Proceedings of the First International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry”(ITI'16). – Springer International Publishing, 2016. – С. 227-236.

13. *Afanasyev A. N., Voit N. N., Gainullin R. F.* Diagrammatic models processing in designing the complex automated systems //Application of Information and Communication Technologies (AICT), 2016 IEEE 10th International Conference on. – IEEE, 2016. – С. 1-4.
14. *Afanasyev A. N. et al.* Control of UML diagrams in designing automated systems software //Application of Information and Communication Technologies (AICT), 2015 9th International Conference on. – IEEE, 2015. – С. 285-288.
15. *Афанасьев А.Н., Игонин А.Г., Афанасьева Т.В., Войт Н.Н.* Использование нейросемантических сетей для автоматизированного проектирования вычислительной техники // Автоматизация. Современные технологии. – 2008. – № 1. – С. 21-24.
16. *Афанасьев А.Н., Войт Н.Н.* Интеллектуальная агентная система анализа моделей потоков проектных работ // Автоматизация процессов управления. – 2015. – № 4. – С. 42.
17. *Афанасьев А.Н., Войт Н.Н.* Автоматная временная грамматика для управления объектами киберфизических систем // В книге: десятая всероссийская мультikonференция по проблемам управления МКПУ-2017 Материалы 10-й Всероссийской мультikonференции. В 3-х томах. Ответственный редактор: И.А. Каляев. – 2017. – С. 20-22.
18. *Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Уханова М.Е., Ионова И.С., Епифанов В.В.* Анализ конструкторско-технологических потоков работ в условиях крупного радиотехнического предприятия // Радиотехника. –2017. – № 6. – С. 49-58.
19. Свидетельство № 2016616685 Российская Федерация. RV-анализатор диаграммного языка BPMN для MS Visio: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Кириллов С.Ю.; заявитель и правообладатель Ульян. гос. техн. ун-т. – № 2016616685; заявл. 19.04.2016; зарегистр. 16.06.2016.

CONTROL AND ANALYSIS OF DENOTATIVE AND SIGNIFICANT SEMANTIC ERRORS DIAGRAMMATIC MODELS OF DESIGN FLOWS IN DESIGNING AUTOMATED SYSTEMS

© Authors, 2017

© Radiotekhnika, 2017

A.N. Afanasev is Doctor of Engineering, Professor, First Vice-Rector, Vice-Rector of Distance and Further Education, Ulyanovsk State Technical University

E-mail: a.afanasev@ulstu.ru

N.N. Voit is Ph.D Student of the Department «Computing technique» of Ulyanovsk state technical University, Deputy Director on research work of Institute of distance and further education of Ulyanovsk state technical University

E-mail: n.voit@ulstu.ru

M.E. Ukhanova is a post-graduate student of the Department «Computing technique» of Ulyanovsk state technical University

The paper aims at interesting approach to check the workflows of business process. Business processes as workflows are presented as a diagram based on graphical languages such as eEPC, UML, BPMN, IDEF0 and so on. Authors offer the approach, including a temporal grammar, a timed automaton and an ontology, for narrowing the semantic gap between business process analysis and business process execution. Authors proposed to check the structural errors and semantic errors as well. The latter is solved applying the ontological model. In proposed approach 23 errors could be

detected and the results are provided in visual form. The approach is illustrated by an example.

References

1. Workflow Handbook 2005 / Layna Fischer (edit or) // Workflow Management Coalition, 2005.
2. *Henry. H. Bi and J. Leon Zhao.* Applying Propositional Logic to Workflow Verification // Information Technology and Management, 2004, vol. 5(3-4), pp. 293–318.
3. *Yuan Wang, Yushun Fan.* Using Temporal Logics for Modeling and Analysis of Workflows // Proceedings of E-Commerce Technology for Dynamic E-Business, 2004. IEEE International Conference on, 2004. doi: 10.1109/CEC-EAST.2004.72
4. WhiteStein Thechnologies. <https://www.whitestein.com/lsp-solutions/manufacturing> (cited by 25.05.2018)
5. *Karpov Yu. G.* MODEL CHECKING. Verification of concurrent and distributed software systems. – SPb.: BHV-Petersburg, 2010. – 560 p
6. *A.N. Afanasev, N.N. Voit.* Grammar-algebraic approach to the analysis and synthesis diagrammatically models of hybrid dynamic design workflows // Information-measuring and Control Systems, no. 12, pp. 69-78, 2017. URL: <http://www.radiotec.ru/article/20138#english> (cited by 25.05.2018)
7. Verification program and temporal logic. URL: <http://logic.pdmi.ras.ru/~yura/modern/034.pdf> (cited by 25.05.2018)
8. *Kalyanov G.N.* Modeling, analysis, reorganization and optimization of business processes / tutorial. – M.: finances and statistics, 2006. - 240 p. URL: <http://www.twirpx.com/file/2204790/> (cited by 25.05.2018)

9. *Saeedloei N., Gupta G.* Timed definite clause omega-grammars // *LIPICs-Leibniz International Proceedings in Informatics*. – Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik, vol. 7, 2010.
10. *Wang Y., Fan Y.* Using temporal logics for modeling and analysis of workflows // *E-Commerce Technology for Dynamic E-Business, 2004. IEEE International Conference on*. – IEEE, 2004. – pp. 169-174.
11. Afanas'ev, A.N. Analiz i kontrol' diagrammaticheskikh modelei pri proektirovanii slozhnyh avtomatizirovannyh sistem / Afanas'ev A.N., Sharov O.G., Voit N.N. – Ul'yanovsk: UIGTU, 2016. – 125 s. (in Russian)
12. Afanasyev A., Voit N., Gaynullin R. The Analysis of Diagrammatic Models of Workflows in Design of the Complex Automated Systems // *Proceedings of the First International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry”(IITI'16)*. – Springer International Publishing, 2016. – pp. 227-236.
13. Afanasyev A. N., Voit N. N., Gainullin R. F. Diagrammatic models processing in designing the complex automated systems // *Application of Information and Communication Technologies (AICT), 2016 IEEE 10th International Conference on*. – IEEE, 2016. – pp. 1-4.
14. Afanasyev A. N. et al. Control of UML diagrams in designing automated systems software // *Application of Information and Communication Technologies (AICT), 2015 9th International Conference on*. – IEEE, 2015. – pp. 285-288.
15. Afanasev A. H., Igonin A. G., Afanaseva T. V., Voit, N. N. Use neurosemantics networks for computer-aided design computing // *Automation. Modern technology*. – 2008. – No. 1. – P. 21-24. (in Russian)
16. Afanasev A. N., Voit N. N. Intelligent agent system analysis models design works // *Automation of control processes*. – 2015. – No. 4. – S. 42. (in Russian)

17. Afanasev A. N., Voit N. N. Automata-based temporal grammar to manipulate objects cyber-physical systems // In book: the tenth all-Russian multimedia conference on governance, mcpo-2017 the materials of the 10th all-Russian conference. In 3 volumes. Responsible editor: I. A. Kalyaev. – 2017. – Pp. 20-22. (in Russian)
18. Afanasev A. N., Voit N. N., Ukhanova, M., Ionova, I. S., Epifanov V. V. Analysis of design-technological work streams in a large electronic company // Radiotekhnika. -2017. – No. 6. – P. 49-58. (in Russian)
19. Svidetel'stvo no. 2016616685 Rossiiskaya Federaciya. RV-analizator diagrammnogo yazyka BPMN dlya MS Visio: svidetel'stvo o gosudarstvennoi registracii programmy dlya EVM / Afanas'ev A.N., Voit N.N., Kirillov S.Yu.; zayavitel' i pravoobladatel' Ul'yan. gos. tehn. un-t. no. 2016616685; zayavl. 19.04.2016; zaregistr. 16.06.2016. (in Russian)

Сведения об авторах статьи

КОНТРОЛЬ И АНАЛИЗ ДЕНОТАТИВНЫХ И СИГНИФИКАТИВНЫХ СЕМАНТИЧЕСКИХ ОШИБОК ДИАГРАММАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОТОКОВ РАБОТ В ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Афанасьев Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, Ульяновский государственный технический университет (УлГТУ). Имеет более 300 статей в области САПР. [e-mail: a.afanasev@ulstu.ru]. Контактный телефон: +7(908)479-68-18, почтовый адрес: г. Ульяновск, ул. Пролетарская д. 39 кв. 4.

Область научных интересов: автоматизированные системы обучения, организация вычислительных процессов и структур ЭВМ, проектирование

интеллектуальных систем, САПР, управление сложными потоками работ, диаграмматика графических языков.

Войт Николай Николаевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры "Вычислительная техника" Ульяновского государственного технического университета. Имеет более 190 научных статей в области интеллектуальные САПР, Case-, Cals-технологии. [e-mail: n.voit@ulstu.ru]. Контактный телефон: +7(906)147-65-58, почтовый адрес: г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32. Область научных интересов: интеллектуальные системы разработки сложных автоматизированных систем, автоматизированные среды обучения, графические языки и грамматики.

Уханова Мария Евгеньевна, аспирант кафедры «Вычислительная техника» УлГТУ, ведущий инженер-программист – руководитель группы, АО «УМЗ»; число опубликованных научных работ –8; область научных исследований – проектирование автоматизированных систем; название организации, в которой работает автор – АО Ульяновский механический завод; полный адрес организации – Россия, 432008, г. Ульяновск, Московское шоссе, 94; контактная информация для связи с авторами (телефон, адрес электронной почты), E-mail: mari-u@inbox.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander Afanasyev, Ph.D., professor, Ulyanovsk State Technical University. Has more than 300 articles in the field of CAD. [E-mail: a.afanasev@ulstu.ru]. Contact phone: +79084796818, address: Ulyanovsk, ul. Proletarian 39 – 4. Research interests: automated training system, the organization of computing processes and structures of computers, design of intelligent systems, CAD, management of complex workflows, diagrammatika graphical languages.

Nikolay Voit, Ph.D Student of "Computer Engineering" Ulyanovsk State Technical University. Has more than 190 scientific papers in the field of intelligent CAD Sase-, Sals technology. [e-mail: n.voit@ulstu.ru]. Contact phone: +79061476558, e-mail address: Ulyanovsk, ul. Venice of the North, 32. Research interests: intelligent system design of complex automated systems, automated learning environment, graphic language and grammar.

M.E. Ukhanova, post-graduate student of the department "Computer Science", Ulyanovsk State Technical University; JSC "Ulyanovsk Mechanical Plant"
E-mail: mari-u@inbox.ru