

Автоматизация проектирования потоков работ в условиях промышленного предприятия¹

А.Н. Афанасьев,
первый прор., прор. по ДиДО, проф., д.т.н., доц., a.afanasev@ulstu.ru,
Н.Н. Войт,
зам. дир. по НИР ИДДО, доц., к.т.н., доц., n.voit@ulstu.ru,
УлГТУ, г. Ульяновск

Разработана динамическая модель представления процессов проектирования автоматизированных систем на базе темпоральной автоматной грамматики, которая обеспечивает математическое описание гибридных динамических потоков проектных работ для анализа, контроля, преобразования и интерпретации. Отличием модели от аналогов является определение (описание) места, типа ошибки и вариантов её устранения в диаграмматической модели.

A dynamic model of computer-aided systems design processes representation based on temporal automata-based grammar is developed, which provides a mathematical description of hybrid dynamic flows of design works for analysis, control, transformation and interpretation. The difference between the model and analogues is the definition (description) of the place, type of error and options for its elimination in the diagram model.

Workflow mining является интерактивным направлением теории управления бизнес-процессами, решает обратную задачу [13] автоматизации проектирования потоков работ на основе диаграмматических моделей [1, 2, 3, 4], которые формируются в ней на основе событий о выполненных задачах (например, по информации лог-файлов). Как правило, такие диаграмматические модели представлены на визуальных языках таких, как UML AD, BPMN, eEPC, IDEF и др. При анализе бизнес-процесса эксперт по интеллектуальному анализу данных многократно оценивает диаграмматическую модель бизнес-процесса, меняет условия бизнес-процесса с помощью характеристик модели с целью достижения оптимального решения. Моделирование фрагмента или полного бизнес-процесса как правило представляется потоком работ в графических конструкциях (нотациях). Такие потоки работ формализуются как паттерны и являются многократно используемыми типовыми структурными единицами Workflow mining. Следует отметить, что сферы применения теории управления бизнес-процессами и потоками работ обширные и включают человеко-компьютерное взаимодействие (например, в промышленности – конструкторская подготовка производства). Современные системы управления бизнес-процессами такие, как SAP, PeopleSoft, Oracle, CRM (Customer Relationship Management) software применяют теорию управления бизнес-процессами в виде компьютеризованных технологий, модулей. Моделирование бизнес-процесса в таких системах далеко не тривиальная задача и требует понимание языка описания бизнес-процесса (например, BPMN) и подробное обсуждения проблемы с вовлеченными в процесс работниками и руководством. Главным образом Workflow mining полезен при анализе новой системы в плане понимания того, как конечный пользователь (потребитель, проектировщик, программист, эксперт и т.п.) работает с этой системой, при этом бизнес-эффекты от применения Workflow mining в управлении бизнес-процессами следующие:

- уменьшает время и стоимость анализа, потому что большая часть информационных систем имеет данные журнала (лог-файлы), которые доступны без любых дополнительных расходов;
- предоставляет объективную информацию о любом учете, поскольку журналы потоков работ являются беспристрастным отражением выполненных работ;
- позволяет формальную проверку свойств потоков работ с помощью моделирования процесса перед его введением в эксплуатацию;
- поддерживает несколько представлений одного и того же бизнес-процесса с помощью алгоритмов синтеза и преобразования моделей;
- позволяет произвольный выход из циклов потока работ (вводится специальный ациклический поток работ), когда это необходимо (например, при досрочном выходе из цикла во время трассировки потока работ);
- допускает многократное изменения характеристик диаграмматической модели на работающем экземпляре потока работ во время его исполнения на основе контрольных точек (check point).

Авторами разработана динамическая модель представления процессов проектирования автоматизированных систем для Workflow mining на базе темпоральной автоматной грамматики, обеспечивающая формальное описание потоков работ бизнес-процессов и отличающаяся от аналогов тем, что по ней можно определить место ошибки диаграмматической модели и тип ошибки, в том числе понять структурная или семантическая ошибка. При этом формализация и анализ диаграмматических моделей бизнес-процессов выполняется по принципу **сегрегации** (отделения), т. е. весь бизнес-процесс делится на отдельные потоки работ, для которых формируются диаграмматические модели и выполняется их анализ, после которого верифицированные диаграмматические модели обратно собираются в модель описания исследуемого бизнес-процесса.

Темпоральной автоматной RVTI-грамматикой языка $L(G)$ называется упорядоченная восьмерка непустых множеств:

$$G = (V, \Sigma, \tilde{\Sigma}, C, E, R, \tau, r_0),$$

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-07-01417. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ульяновской области в рамках научного проекта № 18-47-730032

где $V = \{v_e, e = \overline{1, L}\}$ – вспомогательный алфавит (алфавит операций над внутренней памятью, представленный магазином или эластичной лентой); $\Sigma = \{a_n, n = \overline{1, T}\}$ – алфавит графических символов (объектов); $\tilde{\Sigma} = \{a_n, n = \overline{1, \tilde{T}}\}$ – квазитерминальный алфавит, являющийся расширением терминального алфавита Σ ; $C = \{c, c = c + t_l \mid \exists t_0 = 0 \rightarrow c = 0\}$ – идентификатор часов (счетчик); $\tau = \{t_l \in [0; +\infty], l = \overline{1, K}\}$ – множество временных меток, причем $c \in [t_l; t_{l+1}]$; E – темпоральное отношение вида $\{c \sim t_l\}$, где переменная c (идентификатор часов), отношение $\sim \in \{=, <, \leq, >, \geq\}$, описывающих условие наступления события t_l ; $R = \{r_i, i = \overline{0, I}\}$ – схема грамматики G (множество имен комплексов продукций, причем каждый комплекс r_i состоит из подмножества P_{ij} продукций $r_i = \{P_{ij}, j = \overline{1, J}\}$); $r_0 \in R$ – аксиома RVTI-грамматики (имя начального комплекса продукций), $r_k \in R$ – заключительный комплекс продукций. Продукция $P_{ij} \in r_i$ имеет вид $\sim \{W_\gamma(v_1, \dots, v_n)E\}$
 $a_l \rightarrow r_m$, 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), $E = \emptyset$ при $c \sim t_l$; (\tilde{a}_l, t_l) – слова в виде пары квази-символа и временной метки; $r_m \in R$ – имя комплекса продукции-преемника. Язык данной грамматики содержит слова вида (\tilde{a}_l, t_l) при $E \neq \emptyset$ и \tilde{a}_l при $E = \emptyset$, представляет трассу $\sigma = \{\tilde{a}_0, 0\} \rightarrow \{\tilde{a}_l, t_l\} \vee \tilde{a}_l \rightarrow \{\tilde{a}_k, t_k\}$. Темпоральный поток работ представим в виде динамической модели:

$$P^{TEMP} = (E, L(G)),$$

где $E = \{e_l, l = \overline{1, L}\}$ – кортеж событий алфавита грамматики Σ , представлен темпоральными словами визуального языка; $L(G)$ – темпоральный язык, представляющий последовательность темпоральных слов. N параллельных процессов представим в виде $\prod_{i=1}^N P^{TEMP}$. Темпоральные процессы i и j эквивалентны, тогда и только тогда, когда их языки одинаковы:

$$L(G)_i^{P^{TEMP}} = L(G)_j^{P^{TEMP}}.$$

Синтез нового процесса представляется как преобразование существующего процесса в плане изменения (замены) событий E с соответствующим изменением языка $L(G)$. Место ошибки в диаграмматической модели определяется тогда и только тогда, когда нарушается выполнение продукции P_{ij} , и представлено конкретным

ошибочным квазитермом \tilde{a}_l трассы σ . Такие ошибки являются структурными или синтаксическими ошибками диаграмматической модели темпорального языка $L(G)$. В том время, как семантическими ошибками диаграмматических моделей потоков работ выявляются на основе анализа семантического образа содержания потока работ и хорошо описаны в работе [5]. Устранением ошибок в семействе RV-грамматик назван метод нейтрализации, описанный в работах [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

Динамическая модель представления процессов автоматизированных систем на базе темпоральной автоматной грамматики обеспечивает математическое описание гибридных динамических потоков проектных работ для анализа, контроля, преобразования и интерпретации, что позволяет определить место ошибки в диаграмматической модели. Дальнейшее направление исследований связано с реализацией процедур определения места ошибки в диаграмматической модели на примере PLM-системы Лоцман-PLM АСКОН.

Литература

1. International Journal of Information Technology and Knowledge Management July-December 2011, Volume 4, No. 2, pp. 719-722
2. W.M.P. van der Aalst, A.J.M.M. Weijters, and L. Maruster "Workflow Mining: Which Processes Can be Rediscovered?"
3. W.M.P. van der Aalst, A.J.M.M. Weijters, and L. Maruster "Workflow Mining: Discovering Process Models from Event Logs".

4. Joachim Herbst, Niko Kleiner "Interactive Workflow Mining - Requirements, Concepts and Implementation Markus Hammer".
5. 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. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29826173>
6. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Интеллектуальная агентная система анализа моделей потоков проектных работ // Автоматизация процессов управления. – 2015. – № 4 (42). – С. 52-61. <https://elibrary.ru/item.asp?id=25144484>
7. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Автоматная временная грамматика для управления объектами киберфизических систем // В сборнике: ДЕСЯТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ МУЛЬТИКОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ МКПУ-2017 Материалы 10-й Всероссийской мультиконференции. В 3-х томах. Ответственный редактор: И.А. Каляев. – 2017. – С. 20-22. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29913539>
8. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Воеводин Е.Ю., Гайнуллин Р.Ф. Анализ диаграмматических моделей в процессе проектирования автоматизированных систем // Объектные системы. – 2015. – № 10 (10). – С. 124-129. <https://elibrary.ru/item.asp?id=23932346>
9. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Анализ и контроль динамических распределенных потоков работ при проектировании сложных автоматизированных систем (САС) // В сборнике: Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM - 2016) труды XVI-ой международной молодежной конференции. – 2016. – С. 97-101. <https://elibrary.ru/item.asp?id=27645803>
10. Афанасьев А.Н., Шаров О.Г., Войт Н.Н. Анализ и контроль диаграмматических моделей при проектировании сложных автоматизированных систем – г. Ульяновск, – 2016. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29293058>
11. 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. – Т. 15. – № 12. – С. 69-78. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32465657>
12. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Грамматико-алгебраический подход к анализу гибридных динамических потоков проектных работ // В сборнике: Информационные технологии и информационная безопасность в науке, технике и образовании "ИНФОТЕХ - 2017" сборник статей Всероссийской научно-технической конференции. Севастопольский государственный университет, Институт «Информационные технологии и управление в технических системах». – 2017. – С. 43-48. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32238403>
13. Tarantola A. Inverse problem theory and methods for model parameter estimation. – siam, 2005. – Т. 89. http://www.ipgp.fr/~tarantola/Files/Professional/Teaching/Diverse/Exercices/Example_1/CompleteDocument.pdf