



# OSTIS-2015

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 681.31

## СЕМАНТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИАГРАММАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Афанасьев А.Н. \*, Гайнуллин Р.Ф. \*\*, Афанасьева Т.В. \*

\* *Ульяновский государственный технический университет,  
г. Ульяновск, Россия*

**a.afanasev@ulstu.ru**  
**tv.afanasjeva@gmail.com**

\*\* *Общество с ограниченной ответственностью «Эквид»  
г. Ульяновск, Россия*

**r.gainullin@gmail.com**

Предлагаются автоматнo-ориентированные методы и средства семантического анализа и контроля диаграмматических моделей при проектировании сложных автоматизированных систем. В качестве основного графического базиса выбран язык UML

**Ключевые слова:** автоматизированная система; диаграмматика; семантический анализ и контроль

### Введение

В повышении успешности разработки сложных автоматизированных систем (САС) ключевую роль играет разработка качественных диаграмматических моделей, особенно на этапах концептуального проектирования [Афанасьев, 2012а]. Использование диаграмматики значительно повышает эффективность процесса проектирования и качество создаваемых систем за счет унификации языка взаимодействия участников процесса создания САС, строгого документирования проектно-архитектурных, функциональных решений и формального контроля корректности диаграммных нотаций.

Наиболее распространенным в промышленной практике диаграмматическим инструментом, используемым на всех этапах создания САС, является язык UML. Однако в современной теории и практике применения UML-диаграмматики в проектировании САС наблюдается слабое развитие методов и средств анализа и контроля корректности проектируемых диаграмм. Отсутствуют средства контроля корректности семантической согласованности диаграммных нотаций в процессе коллективного проектирования. Данные факты открывают дополнительный источник трудно диагностируемых и «дорогих» ошибок в создании

АС, их анализ и контроль является **актуальной научно-технической задачей**.

### Многоуровневые RVM-грамматики

Целью работы является расширение класса диагностируемых ошибок в процессе проектирования САС за счет развития и реализации методов и средств анализа и контроля диаграммных нотаций, что позволяет сократить ошибки и время создания САС.

Базовый математический аппарат семантического анализа и контроля основан на применении семейства RV-грамматик [Афанасьев 2012а, Шаров 2005, 2008, 2011].

При коллективном проектировании диаграмматические модели имеют сложную иерархическую структуру (комплексные диаграммы), количество термов в них увеличивается многократно. Классическая графическая RV-грамматика становится громоздкой, ее разработка усложняется, не обеспечивается контроль взаимосвязанных вершин и диаграмм комплексных моделей. Для устранения этих недостатков предлагается аппарат многоуровневых грамматик.

Рассмотрим многоуровневую систему RV-грамматик, представленную в виде кортежа из четырех элементов:

$$RVM = \langle n, \Sigma^n, RV^n, r_0 \rangle,$$

где  $n$  – индекс грамматики;  $\Sigma^n$  – алфавит  $n$ -й грамматики;  $RV^n$  – множество продукций  $n$ -й грамматики;  $r_0$  – аксиома грамматики верхнего уровня.

Грамматика  $RV^i$  содержит в качестве одного из состояний грамматику  $RV^j$ . Грамматика  $RV^j$  также может быть составной.

$RV^n$  – грамматикой языка  $L(G)$  является упорядоченная пятерка непустых множеств

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

где  $V = \{v_l, l = \overline{1, L}\}$  – алфавит операций над внутренней памятью;  $\Sigma = \{a_t, t = \overline{1, T}\}$  – терминальный алфавит графического языка (множество примитивов графического языка);  $\tilde{\Sigma} = \{\tilde{a}_t, t = \overline{1, \tilde{T}}\}$  – квазитерминальный алфавит, являющийся расширением терминального алфавита. Алфавит включает:

- квазитермы графических объектов, не являющихся продолжателями анализа,
- квазитермы графических объектов, имеющих более одного входа,
- квазитермы связей – меток с определенными для них семантическими различиями,
- квазитерм для завершения анализа;

$R = \{r_i, i = \overline{1, I}\}$  – 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  $RV$ -грамматики (имя начального комплекса продукций),  $r_k \in R$  – заключительный комплекс продукций.

Продукция  $P_{ij} \in r_i$  имеет вид:

$$\tilde{a}_t \xrightarrow{W_\gamma(\gamma_1, \dots, \gamma_n)} r_m,$$

где  $W_\gamma(\gamma_1, \dots, \gamma_n)$  –  $n$ -арное отношение, определяющее вид операции над внутренней памятью в зависимости от  $\gamma \in \{0, 1, 2, 3\}$ ;  $r_m \in R$  – имя комплекса продукции – преемника.

В структуру внутренней памяти входят стеки для обработки графических объектов, имеющих более одного выхода, и эластичные ленты для обработки графических объектов, имеющих более одного входа.

Система  $RVM$  получает с входной ленты символы терминального алфавита и передает их на соответствующий уровень. Элементы, которые переводят грамматику на другой уровень, назовем «сабтермами». Тогда описание  $RV^n$ -грамматики примет вид:

$$G = (V, \Sigma, \tilde{\Sigma}, \bar{\Sigma}, R, r_0),$$

где  $\bar{\Sigma}$  – множество сабтермов, т.е. элементов грамматики, переводящих автомат на следующий более низкий уровень.

Продукция, содержащая сабтерм, имеет вид:

$$\bar{a}_t \xrightarrow[r_0^{n+1}]{W_\gamma(\gamma_1, \dots, \gamma_n)} r_m^n,$$

где  $r_0^{n+1}$  – комплекс-преемник – начальный комплекс грамматики следующего уровня,  $r_m^n$  – комплекс-преемник, к которому производится переход при достижении  $r_k^{n+1}$ .

## Семантический анализ и контроль

При коллективном проектировании важным является контроль онтологической согласованности комплекса проектируемых диаграмм. Ошибки такого типа являются семантическими. В этом плане для анализа семантической корректности предложено использовать многоуровневую грамматику. Верхним уровнем многоуровневой грамматики является грамматика диаграмм вариантов использования, так как разработка АС, согласно методологии RUP, начинается именно с этой диаграммы. В процессе анализа накапливается семантическая информация о предметной области в виде графа связей между семантическими понятиями (текстовой информацией), нагруженными к блокам и связям диаграмм. Каждая новая диаграмма анализируется на условия непротиворечивого расширения понятий предметной области.

При построении первых диаграмм проверяется только семантическая непротиворечивость внутри диаграммы: возможность использования понятий в семантической паре. При добавлении новых диаграмм проверяется согласованность диаграммы обособлено и на согласованность комплексной модели проектируемой АС.

Для проверки комплексной модели необходимо построить граф семантических связей между элементами АС. Для решения данной задачи выбран адаптированный метод лексико-синтаксических шаблонов.

Предложенный метод позволяет диагностировать следующие семантические ошибки: Большая синонимия, Антонимия объектов,

Конверсивность отношений. Один из классов ошибок не контролируется предложенным методом – несовместимость объектов.

Разработанные методы анализа и контроля позволяют диагностировать ошибки, разделенные контекстом, а также семантические ошибки, которые не определяются в большинстве современных редакторов.

В процессе исследования были выявлены следующие классы ошибок, встречающиеся в диаграммах UML (таблица 1).

Таблица 1 – Классы ошибок UML-диаграмм

№	Тип ошибки	Д И	Д А	Д П	Д К	Д Р
1	Отсутствие связи	+	+	+	+	+
2	Ошибка передачи управления					
3	Ошибка кратности входов		+			+
4	Ошибка кратности выходов		+			
5	Недопустимая связь	+	+	+	+	+
6	Ошибка связи	+	+			+
7	Ошибка уровня доступа				+	
8	Ошибка передачи сообщения		+	+		
9	Ошибка делегирования управления				+	
10	Количественная ошибка элементов диаграммы		+			+
11	Исключающие связи неверного типа				+	
12	Вызов, направленный в линию жизни			+		
13	Несвязанная связь	+	+	+	+	+
14	Нарушение кратности зависимостей	+	+			
15	Взаимоисключающие связи	+				
16	Множественная связь	+				
17	Бесконечный цикл	+				
18	Кольцевые связи	+				
19	Синхронный вызов до получения ответа			+		
20	Ошибка удаленного контекста		+			

В таблице использованы следующие сокращения: ДИ – диаграмма использования, ДА – диаграмма активности, ДП – диаграмма последовательности, ДК – диаграмма классов, ДР – диаграмма разветвления.

Исследование современных систем создания диаграмматических нотаций UML показало, что они позволяют обнаруживать первые 16 из

перечисленных типов ошибок. Авторский аппарат RVM-грамматик позволяет обнаруживать 4 дополнительных типа ошибок: множественная связь, кольцевые связи, синхронный вызов до получения ответа, ошибка удаленного контекста.

Ошибкой удаленного контекста называется ошибка, возникающая в парных элементах, например, условное ветвление и слияние условных ветвей, и характеризующаяся возможным присутствием неограниченного количества блоков и связей между ними. Примером такой ошибки может служить условное ветвление на диаграмме активности, которое предполагает исполнение только одной из возможных ветвей, и парное ему слияние параллельных ветвей, которое передает управление дальше только при достижении всех входных связей. Такое сочетание элементов никогда не позволит достигнуть конца диаграммы.

Разработаны программные средства анализа и контроля [Афанасьев, 2012б, Брагин, 2013]: анализатор диаграмматических моделей потоков бизнес-процессов вопросно-ответной системы моделирования САС, синтаксически-ориентированный анализатор UML-диаграмм для MS Visio, сетевая система анализа и контроля диаграмматики моделей, предлагающая полный набор функциональности для анализа и контроля синтаксических и семантических ошибок.

Инструментарий последней системы позволяет выполнять следующие основные функции для пользователя:

- создание диаграмм моделей бизнес-процессов с использованием различных графических языков;
- добавление новых нотаций в графические языки;
- анализ построенных диаграмм, с использованием аппарата RVM-грамматик, по предварительно загруженным в систему описаниям языка и правилам анализа;
- добавление новых алгоритмов анализа с помощью плагинов;
- добавление синтаксических и семантических правил графических языков, для использования в RVM-анализаторе;
- создание взаимосвязи между построенными проектировщиками диаграммами;
- одновременный доступ нескольких проектировщиков к базе данных построенных диаграмм.

## Заключение

Предложен метод анализа и контроля семантических ошибок диаграмматических моделей в составе комплексной диаграммы, созданной в процессе коллективного проектирования, на основе автоматных графических RVM-грамматик. RVM-грамматики позволяют обнаруживать 4 дополнительных типа ошибок, что составляет 20 % от общего числа ошибок. Разработаны

инструментальные средства семантического анализа и контроля диаграмматических моделей.

## Библиографический список

[Афанасьев, 2012а] Афанасьев А.Н. Методология и инструментарий анализа и контроля потоков работ в автоматизированном проектировании сложных компьютеризованных систем // Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'12». В 4 т. Т.1. – М.: Физматлит, 2012. – С. 391-399.

[Шаров, 2005] Шаров О.Г., Афанасьев А.Н. Синтаксически-ориентированная реализация графических языков на основе автоматных графических грамматик // Программирование. – 2005. - № 6. – С. 56-66.

[Шаров, 2008] Шаров О.Г., Афанасьев А. Н. Нейтрализация синтаксических ошибок в графических языках // Программирование. – 2008. – №1. – С. 61-66.

[Шаров, 2011] Шаров О.Г., Афанасьев, А. Н. Методы и средства трансляции графических диаграмм // Программирование. – 2011. – №3. – С. 65-76.

[Афанасьев, 2012б] Афанасьев А.Н., Гайнуллин Р.Ф., Шаров О.Г. Программная система анализа диаграммных языков // Программные продукты и системы. – 2012. № 3. – С. 138-141.

[Брагин, 2013] Брагин Д. Г., Гайнуллин Р. Ф. Анализатор диаграммных языков для диаграммного редактора Microsoft Visio // Информационные системы. – 2013. – № 6. – С. 18-21.

## SEMANTIC ANALYSIS DIAGRAMMATICAL MODELS IN THE DESIGN OF COMPLEX AUTOMATED SYSTEMS

Afanasjev A.N.\* , Gainullin R.F. \*\* ,

Afanasjeva T.V.\*

\*Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk,  
Russia

a.afanasev@ulstu.ru

tv.afanasjeva@gmail.com

\*\* Ltd «Ecvld», Ulyanovsk, Russia

r.gainullin@gmail.com

Offered automaton-oriented methods and means of semantic analysis and control of diagrammatical models in the design of complex automated systems. As a basic graphical basis chosen the UML

## Introduction

In a pinch, the successful development of complex automated systems (CAS) plays a key role to develop quality diagrammatical models, especially at the stage of conceptual design. Using diagrammatic significantly increases the efficiency of the design process and the quality of the systems by unifying language of interaction between participants of the process of creating the CAS, rigorous documentation of architectural design, functional solutions and formal control of correctness of diagram notations. The most common in industrial practice diagrammatic tool used at all stages of CAS, is the language UML. However, in the modern theory and practice of using UML-diagram in designing CAS observed weak development of methods and tools for analysis and control of the correctness of the designed diagrams.

There are no means of controlling the correctness of semantic coherence diagram notation in the process of collective design. These findings open up an additional source of difficult to diagnose and "expensive" errors in the creation of the CAS, analysis and control is an important scientific and technical problem.

## Main Part

The aim is to expand the class of diagnosed errors in the design process of CAS through the development and implementation of methods and tools for analysis and control of diagram notations, reducing errors and time the CAS.

When collective designing diagrammatical models have a complex hierarchical structure (complex diagrams), the number of terms they increased many times. Classical graphic RV-grammar becomes cumbersome, its development is complicated by the non-controlling interconnected nodes and diagrams of complex models. To address these shortcomings is provided an apparatus multilevel grammars.

When designing the collective control is an important ontological consistency complex designed diagrams. Errors of this type are semantic. In this respect, to analyze the semantic correctness is proposed to use a multi-level grammar. The upper level of a multi-level grammar is a grammar use case diagrams as well as the development of the CAS, according to the methodology RUP, starts with this chart. In analyzing the semantic information is stored on the domain as a graph of relations between semantic concepts (textual information), loaded to the blocks and relationship diagrams. Each new diagram is analyzed for conditions consistent expansion domain concepts .

The proposed method makes it possible to diagnose the following semantic errors: Large synonyms, antonyms objects of conversion relations. One class of errors is not controlled by the proposed method - Incompatible objects.

The methods developed for the analysis and control can diagnose errors separated context and semantic errors, which are not defined in most modern editors.

Software tools for analysis and control analyzer diagrammatic flow models of business processes Question answering modeling CAS, syntax-oriented analyzer UML-diagrams for MS Visio, network system analysis and control diagrammatical models offered full set of functionality for analysis and control of syntactic and semantic errors.

## Conclusion

Proposed a method for analysis and control of semantic errors diagrammatic's models in complex diagrams created in the process of collective design, based on the automatic graphics RVM-grammars. RVM-grammar allow to detect 4 additional types of errors, which is 20% of the total number of errors. Developed tools of semantic analysis and control of diagrammatic's models.