

Михелев Михаил Владимирович

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ**

Специальность 05.13.01.

Системный анализ, управление и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Белгород – 2011

Работа выполнена в Белгородском государственном университете,
факультет компьютерных наук и телекоммуникаций,
кафедра прикладной информатики

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Маторин Сергей Игоревич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Коськин Александр Васильевич

кандидат технических наук, доцент
Тубольцев Михаил Федорович

Ведущая организация: Учреждение Российской академии наук
Институт системного анализа РАН.

Защита состоится ___ июня 2011 г. в ___ часов на заседании диссертационного совета Д 212.015.10 при Белгородском государственном университете по адресу: Белгород, ул. Победы, 85.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белгородского государственного университета.

Автореферат разослан 2011 года

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.015.10
кандидат технических наук
доцент

С.П. Белов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Сложность процесса проектирования современных информационных программных систем (ИС), а также большая ответственность за их результаты, в частности в области систем управления (СУ), и слабая формализованность используемых средств и методов делают актуальным проведение исследований и разработок в области совершенствования средств и методов проектирования СУ. Одним из самых слабо формализованных этапов проектирования любой ИС является этап моделирования процессов, для автоматизации которых данная ИС и проектируется. Такое моделирование составляет основное содержание первоочередного этапа создания ИС – этапа анализа. Этот анализ проводится в соответствии с международным стандартом ИСО12207 (Жизненный цикл программного обеспечения). Главным средством проведения анализа является компьютерное системное моделирование с использованием средств системного анализа и визуальных графоаналитических моделей. Как известно, без визуальных графоаналитических моделей не обходится ни один проект по созданию программного обеспечения, что зафиксировано в международном стандарте.

В настоящее время стремительное развитие компьютерных технологий привело к значительному разрыву между быстро прогрессирующими способами практического анализа, визуального графического моделирования и проектирования сложных систем и медленно развивающимися методами их математического описания. Например, известные визуальные графоаналитические способы системно-структурного (DFD, IDEF, ARIS и т.п.), а также объектного (UML) моделирования систем управления и процессов управления, хотя и причисляются к числу формализованных, не дают возможности точно оценить, насколько построенная модель системы соответствует выбранной спецификации (требованиям), т.е. не обеспечивают возможность формальной верификации модели. Кроме того, эти способы моделирования не позволяют оценить, насколько текущая модель системы минимальна и не имеет недостижимых состояний.

Разнообразные методы и подходы к системному моделированию и проектированию сложных организационных и информационных систем разработаны в трудах отечественных и зарубежных ученых: Г.Буча, А.М.Вендрова, У.Гренандера, Г.Н.Калянова, Э.Квейда, С.И.Маторина, Дж.А.Милнера, А.Б.Петровского, Д.А.Поспелова, В.В.Репина, Д.Росса, С.В.Рубцова, Дж.Форрестера, Ю.Г. Карпова и других. Однако эти методы, из-за отсутствия формального описания визуальных моделей, не позволяют решать задачи верификации, проверки эквивалентности и сокращения числа состояний этих моделей. Что создает проблему при решении вопросов анализа, оптимизации и принятия решений в ходе проектирования СУ.

Следовательно, целесообразно искать средства, которые обеспечивали бы действительно формальное (математическое) описание визуальных графических компьютерных моделей и позволяли бы, таким образом, решать упомянутые выше задачи.

Цели и задачи исследования. Целью диссертационного исследования является разработка формализованного метода и алгоритма представления и анализа процессов управления с использованием компьютерных визуальных графоаналитических системных моделей этих процессов и их применение с целью повышения эффективности проектирования программных СУ.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Выбор технологии компьютерного визуального графоаналитического системного моделирования процессов управления.
2. Выбор средств для формализации визуальных графоаналитических моделей процессов управления.
3. Разработка способа формального описания графоаналитических моделей процессов управления.
4. Разработка метода системного моделирования и анализа процессов управления на основе формализованных визуальных графоаналитических моделей процессов управления.
5. Апробация нового формализованного метода системного моделирования и анализа процессов управления при проектировании программной СУ наружным

освещением путем построения и формального описания визуальных графоаналитических моделей процессов управления.

Объект и предмет исследования. Объект исследования – процесс проектирования программных СУ на этапе анализа процессов управления. Предмет исследования – средства моделирования и формализации процессов управления при проектировании программных СУ.

Методы исследования. Системный подход «Узел-Функция-Объект» (УФО-подход), системно-объектный анализ (УФО-анализ), алгебра процессов (ПИ-исчисление), пакет верификатор SPIN, темпоральная логика LTL, язык Promela.

Результаты, выносимые на защиту

1. Способ формализованного описания компьютерных визуальных графоаналитических моделей процессов управления.
2. Метод и алгоритм верификации графоаналитических моделей процессов управления.
3. Метод и алгоритм сокращения числа состояний графоаналитических моделей процессов управления.
4. Метод и алгоритм проверки эквивалентности графоаналитических моделей.
5. Формализованный метод системного моделирования и анализа процессов управления.
6. Применение визуальных и формализованных графоаналитических моделей процессов управления при проектировании программной СУ наружным освещением.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов обеспечивается корректностью использования принципов системного подхода, математических формулировок и преобразований, отсутствием противоречий с известными теоретическими положениями; анализом и систематизацией процедур управления наружным освещением; подтверждается согласованностью разработанных моделей, алгоритмов, методик и результатов, полученных при их апробации и практической реализации системы управления наружным освещением.

Научная новизна. Теоретически обоснованы и разработаны новый формализованный метод и алгоритм системного моделирования и анализа процессов управления для проектирования программных СУ. Метод и алгоритм отличаются от существующих возможностью алгебраического описания визуальных графоаналитических моделей процессов управления, построенных с помощью системно-объектного подхода (в терминах «Узел-Функция-Объект» - УФО подход). Их использование позволяет повысить эффективность проектирования программных систем за счет возможности проведения анализа компьютерных визуальных графоаналитических моделей алгебраическими средствами путем верификации, проверки эквивалентности и сокращение числа состояний таких моделей.

1. Впервые алгебраический аппарат «ПИ-исчисление» адаптирован для описания визуальных графоаналитических моделей процессов управления, в первую очередь путем введения в ПИ-исчисление графического формализма для представления процесса.

2. Впервые разработан способ формального описания системных визуальных графоаналитических моделей процессов управления, выполненных с помощью системно-объектного УФО-подхода, с помощью алгебраического аппарата ПИ-исчисления.

3. Впервые разработаны формализованный метод и алгоритм системного моделирования и анализа процессов управления для проектирования программных СУ, включающие в себя новые, оригинальные методы и алгоритмы, использующие аппарат ПИ-исчисления:

- верификации визуальных графоаналитических моделей процессов управления;
- сокращение числа состояний визуальных графоаналитических моделей процессов управления;
- проверки эквивалентности визуальных графоаналитических моделей процессов управления.

Практическая значимость работы.

1. Разработан алгоритм верификации визуальных графоаналитических моделей

процессов управления, в рамках которого разработана методика преобразования понятий ПИ-исчисления в термины языка Promela.

2. Разработан алгоритм сокращения числа состояний визуальных графоаналитических моделей процессов управления.

3. Разработан алгоритм проверки эквивалентности визуальных графоаналитических моделей процессов управления.

4. Формализованный метод системного моделирования и анализа процессов управления успешно применен при проектировании программной СУ наружным освещением путем построения и формализации визуальной графоаналитической (системно-объектной) модели процессов управления наружным освещением.

Апробация работы.

Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на Международной научно технической интернет конференции «Информационные технологии в управлении и моделировании», Белгород 2006; VII Международной конференции «Информатика и моделирование» – Харьков, 2008; III Всероссийская молодежная конференция по проблемам управления, - Москва. 2008; 3-ей Международной конференции «Системный анализ и информационные технологии», Звенигород 2009.

Данное диссертационное исследования поддержано грантом РФФИ № 10-07-00266.

По результатам исследований опубликовано 11 печатных работ, из них 4 в изданиях из списка ВАК РФ, получено 2 свидетельства о регистрации ПО для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 114 страницах основного текста, включающего 17 рисунков, 2 таблицы, список литературных источников из 103 наименований и 2 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности и важности темы исследования, формулировки цели и решаемых задач, оценку научной новизны и практической значимости результатов работы. Приведены сведения о реализации результатов и апробации работы.

В первой главе проведен обзор и анализ проблем, возникающих при проектировании ИС, в том числе СУ.

Выявлены проблемы моделирования систем и процессов, в первую очередь процессов управления, при проектировании программных СУ. Доказано, что слабая формализованность используемых средств и методов моделирования процессов управления делают актуальным проведение исследований и разработок с целью их совершенствования.

Проведен анализ существующих способов визуального графоаналитического моделирования процессов управления. Показано что, известные визуальные графоаналитические способы системно-структурного, а также объектного моделирования систем и процессов, хотя и причисляются к числу формализованных, не дают возможности точно оценить, насколько построенная модель системы соответствует выбранной спецификации (требованиям). Приведено описание того, насколько в настоящее время эти модели имеют сильную зависимость от экспертов. Сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе обоснован выбор технологий и математических средств, для визуального графоаналитического моделирования и формального описания процессов управления.

Для этого рассмотрены технологии системно-структурного, объектного и системно-объектного моделирования сложных систем. Проанализированы различные инструментарии компьютерного визуального графоаналитического моделирования процессов управления и обоснован выбор технологии для графоаналитического моделирования процессов управления, основанной на системно-объектном УФО-подходе. Данный подход позволяет представить любую систему в виде трехэлементной конструкции «Узел-Функция-Объект» (в виде УФО-

элемента), где «Узел» – точка пересечения входных и выходных связей (потоков) в структуре моделируемой системы; «Функция» – процесс перевода входа в выход, т.е. процесс, обеспечивающий баланс «втекающих» и «вытекающих» потоков по связям данного узла; «Объект» – субстанция, реализующая данную функцию.

Для формального, алгебраического описания моделей процессов управления предложено использовать алгебраический аппарат ПИ-исчисления, разработанный в 1989 году Робертом Милнером, являющийся расширением его же «исчисления взаимодействующих систем (CCS)».

Показано, что использование ПИ-исчисления для описания визуальных графоаналитических моделей процессов управления позволяет решать задачи верификации, проверки эквивалентности и сокращением числа состояний таких моделей.

В третьей главе разработаны новые системный метод и алгоритм моделирования и анализа процессов управления при проектировании программных СУ.

Во-первых, выполнена адаптация ПИ-исчисления для математического описания компьютерных визуальных графоаналитических моделей процессов управления.

Для этого в концептуальный аппарат ПИ-исчисления введен графический формализм по аналогии с графическим формализмом, рассматриваемым в теории паттернов Гренандера. В теории паттернов с помощью и в виде графического формализма рассматривается исходное понятие данной теории – «образующая». Под образующей в этой теории понимается объект, обладающий некоторыми признаками α , а также входящими и выходящими связями (в свою очередь характеризующимися некоторыми показателями β).

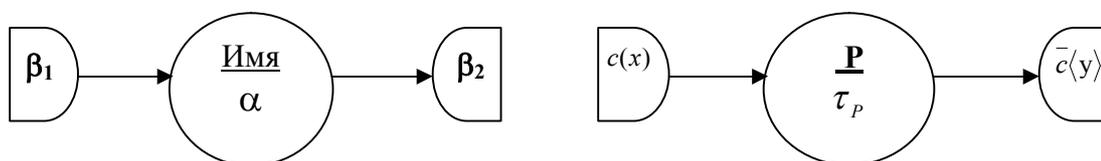


Рисунок 1. Графические формализмы: образующая теории паттернов и процесс ПИ-исчисления.

По аналогии с теорией паттернов, учитывая свойства процесса (основного понятия ПИ-исчисления) можно сказать что, процесс P есть сущность, обладающая внутренним действием τ_P , а также входящими и выходящими связями/каналами, в свою очередь характеризующимися некоторыми показателями $c(x)$ и $\bar{c}(y)$ (см. рис.

1). Где $c(x).P$ - входной префикс, получение данных x из канала c и $\bar{c}\langle y \rangle.P$ - выходной префикс, передача данных y по каналу c .

Введение графического формализма в ПИ-исчисление позволяет функцию графического УФО-элемента представить в терминах этого исчисления, следующим образом:

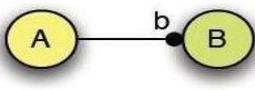
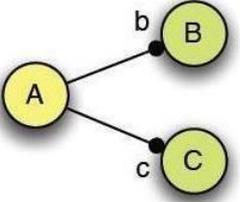
$$УФО = \langle c(x).P, \tau_p, \bar{c}\langle y \rangle.P \rangle.$$

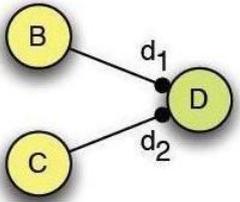
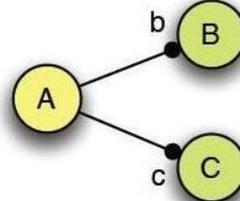
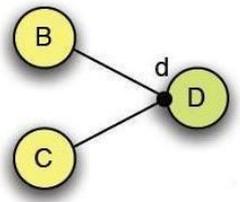
Данное представление, в свою очередь, позволяет описывать функциональные узлы компьютерных визуальных графоаналитических моделей процессов, выполненных средствами УФО-подхода (т.е. УФО-моделей), в терминах алгебраического аппарата ПИ-исчисления.

Во-вторых, разработан способ алгебраического описания графоаналитических УФО-моделей процессов в терминах алгебраического аппарата ПИ-исчисления.

Любой процесс, в том числе процесс управления, состоит из определенных шагов, этапов выполнения. Этими этапами могут быть, например последовательное выполнение процессов, параллельное разделение процессов. Такие этапы представляют собой базовые конструкции процесса. Автором выполнено формальное описание данных конструкций с помощью адаптированного алгебраического аппарата ПИ-исчисления (см. Таблицу 1):

Таблица 1. Формальное описание базовых конструкций процесса.

1. Последовательность		$P = A.B$ $A = \tau_A.\bar{b}\langle x \rangle.0; B = b(x).\tau_B$
2. Параллельное разделение		$P = A.(B C);$ $A = \tau_A.(\bar{b}\langle x \rangle.0 \bar{c}\langle x \rangle.0);$ $B = b(x).\tau_B;$ $C = c(x).\tau_C;$

3. Синхронизация		$P = (B C).D;$ $B = \tau_B.\bar{d}_1\langle x \rangle.0;$ $C = \tau_C.\bar{d}_2\langle x \rangle.0;$ $D = d_1(x).d_2(x).\tau_D$
4. Выбор		$P = A.(B + C);$ $A = \tau_A.(\bar{b}\langle x \rangle.0 + \bar{c}\langle x \rangle.0);$ $B = b(x).\tau_B$ $C = c(x).\tau_C.C'$
5. Объединение		$P = (B + C).D;$ $B = \tau_B.\bar{d}\langle x \rangle.0;$ $C = \tau_C.\bar{d}\langle x \rangle.0; D = d(x).\tau_D$

На основе представленных базовых конструкций, использующих адаптированное ПИ-исчисление, предложен способ алгебраического описания графоаналитических моделей процессов.

С точки зрения УФО-подхода любой процесс - это кортеж, состоящий из узлов, направленных ребер, функций и объектов, что можно записать следующим образом:

$P = (N, E, F, O)$ - формальное описание процесса,

где N - набор узлов; $E \subseteq (N \times N)$ - набор направленных ребер между узлами, отвечающих за маршрутизацию потока управления; $F: N \rightarrow func_N$ - функция, описывает связь пары «ключ/значение» для узлов, т.е. связь узла с функцией; $O: F \rightarrow obj_F$ - набор объектов.

Таким образом, процесс представляет собой граф, который описывает схему процесса. Этот граф может быть представлен в виде УФО-модели.

Используя введенные обозначения, можно предложить следующий способ алгебраического описания визуальных графоаналитических УФО-моделей процессов управления:

Граф процесса $P = (N, E, F, O)$ представляется в виде базовых конструкция в терминах ПИ-исчисления следующим образом:

1. Все узлы процесса P соответствуют уникальным идентификаторам ПИ-исчисления $N_1 \dots N_N | P_N |$.

2. Все ребра процесса P соответствуют именам ПИ-исчисления $e_1 \dots e_E | P_E |$.

3. Внутреннюю деятельность процесса будем обозначать τ . Если граф процесса циклический, то используется рекурсия для возможности многократного выполнения экземпляра деятельности.

4. Выражение $N \stackrel{def}{=} (ve_1, \dots, e_E) (\prod_{i=1}^{|P_N|} N_i)$ описывает экземпляр процесса.

Представленный способ описания процесса средствами ПИ-исчисления даёт возможность создавать на основе визуальных графоаналитических моделей процессов модели алгебраические, что позволяет впервые формально решать задачи верификации и проверки эквивалентности визуальных графоаналитических моделей процессов управления.

В-третьих, разработаны методы и алгоритмы верификации, проверки эквивалентности и сокращения числа состояний графоаналитических моделей процессов управления.

Первым шагом **сокращения числа состояний** графоаналитической модели (УФО-модели) процесса управления является ее формальное алгебраическое описание в терминах ПИ-исчисления. Эта задача заключается в том, чтобы по заданному процессу P построить процесс P' с наименьшим числом состояний. Для построения такого процесса P' , используются правила вывода ПИ-исчисления, составляющие следующий алгоритм.

1. Например, пусть задан процесс $P = \bar{b} \langle a \rangle . S | b(c) . \bar{c} \langle d \rangle . Q$.

2. Используя правило $\frac{P \xrightarrow{\alpha(x)} P'; Q \xrightarrow{\bar{a}(u)} Q'}{P|Q \xrightarrow{\tau} P'\{u/x\}|Q'}$, сделаем преобразова-

ние $\frac{b(c)\bar{c}\langle d \rangle.Q \xrightarrow{b(c)} \bar{c}\langle d \rangle.Q; \bar{b}\langle a \rangle.S \xrightarrow{\bar{b}(a)} S}{b(c)\bar{c}\langle d \rangle.Q|\bar{b}\langle a \rangle.S \xrightarrow{\tau} \bar{a}\langle d \rangle.Q\{a/c\}|S}$ и в результате получим $\bar{a}\langle d \rangle.Q\{a/c\}|S$.

3. Используя правило вывода $P|Q \equiv Q|P$, получим $P = \bar{a}\langle d \rangle.Q\{a/c\}|S \equiv S|\bar{a}\langle d \rangle.Q$.

4. Таким образом, $P = \bar{b}\langle a \rangle.S|b(c)\bar{c}\langle d \rangle.Q \xrightarrow{\tau} S|\bar{a}\langle d \rangle.Q$.

5. Процесс $P' = S|\bar{a}\langle d \rangle.Q$ это процесс с наименьшим числом состояний и $P' \sim P$.

Один из подходов к решению проблемы **верификации** процессов управления это проверка моделей процессов (model checking). В качестве языка спецификации для выражения свойств систем, при этом подходе, автором предложено использовать темпоральную логику линейного времени - LTL. Задача проверки модели состоит в определении выполнимости для системы, заданной формальным образом (в виде формальной модели), свойства, записанного формулой темпоральной логики.

В качестве модуля для верификации моделей процессов управления автором предложено использовать пакет SPIN. При использовании этого верификатора, формальное описание графоаналитических моделей процессов управления описывается на языке Promela. Автором разработана методика преобразования понятий ПИ-исчисления в термины языка Promela (см. Таблицу 2).

Таблица 2. Преобразование терминов ПИ-исчисления в конструкции языка Promela.

Название	ПИ-исчисление	Язык Promela
Имена	N	$chan\ n = [0]\ of\ \{chan\ \};$
Процесс	P	$proctype\ P(chan\ p1, \dots, pn)$ $\{$ $chan\ b1, \dots, bm;$ $\dots\ (трансляция\ тела\ процесса)$ $\}$
Префикс	$\bar{c}\langle y \rangle$ $c(x)$	$c!y$ $c?(x)$
Соответствие	$[a = b]$	$a == b$
Альтернативная	$\sum_{i \in I} \pi_i . P_i$	$proctype\ P(chan\ a1, \dots, ak)$

КОМПОЗИЦИЯ		$\{$ if $:: \dots \text{ (трансляция для 1 процесса)}$ $:: \dots \text{ (трансляция для 2 процесса)}$ \dots $:: \dots \text{ (трансляция для процесса } n)$ fi $\}$
Параллельная композиция	$P = P1 P2$	$proctype P()$ $\{$ $atomic \{ run P1(); run P2() \}$ $\}$

Задача верификации моделей формулируется следующим образом. Пусть задана модель процесса $P = (N, E, F)$, представляющая систему с конечным числом состояний, где N - набор узлов; $E \subseteq (N \times N)$ - набор направленных ребер между узлами; $F: N \rightarrow func_N$ - функция. Также задана формула темпоральной логики φ , которая выражает некоторую желаемую спецификацию. Требуется найти во множестве N подмножество всех состояний, в которых выполняется φ , т.е. следующее множество: $\{n \in N \mid P, n \models \varphi\}$

На рисунке 2 представлена схема выполнения процедуры **верификации** модели процесса в графоаналитической нотации. Пунктиром выделены этапы, методы и алгоритмы выполнения которых разработаны автором.

Алгоритм применения метода верификации в целом состоит из следующих этапов:

1. Построение графоаналитической модели процесса управления, с помощью УФО-подхода.
2. Формальное описание графоаналитических моделей процессов управления, с помощью адаптированного ПИ-исчисления.
3. Сокращение числа состояний процесса P , с помощью правил вывода ПИ-исчисления.
4. Трансляция терминов процесса P в конструкции языка PROMELA.
5. Верификация процесса P , с помощью пакета SPIN и оценка результатов.

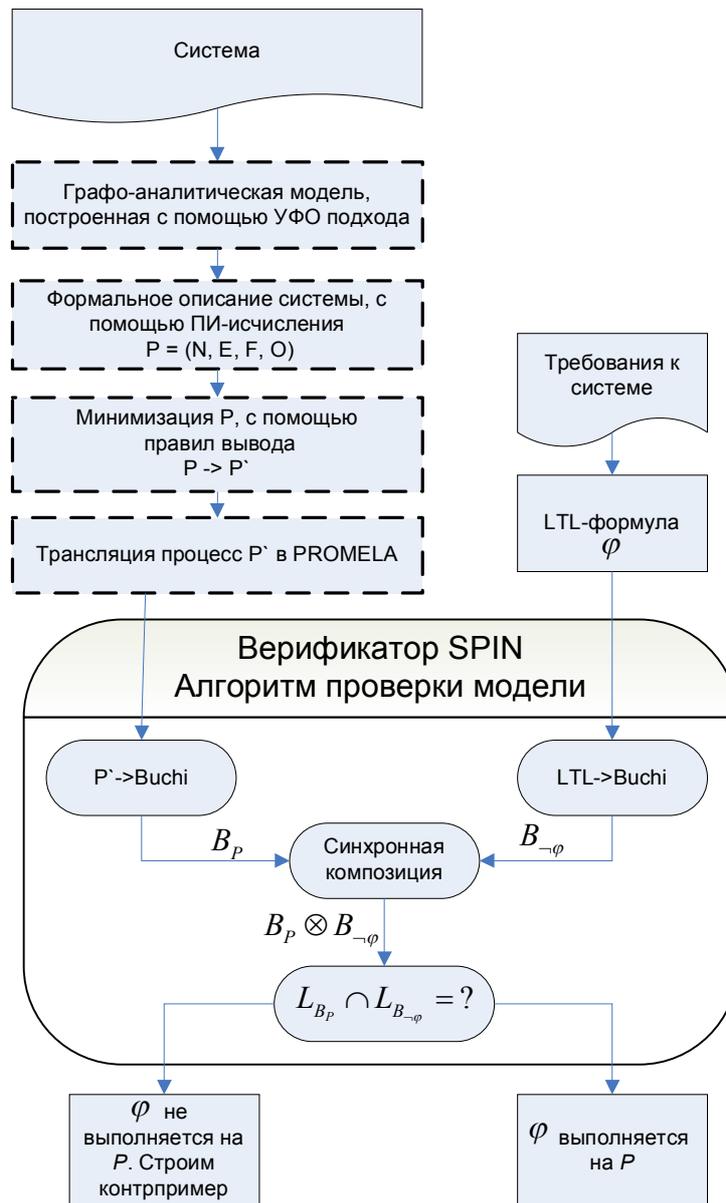


Рисунок 2. Алгоритм верификации графоаналитических моделей

Используя предложенный способ формального описания графоаналитических моделей процессов управления и правил вывода алгебраического аппарата ПИ-исчисления, можно предложить метод проверки эквивалентности графоаналитических моделей, алгоритм применения которого состоит из следующих этапов:

1. Пусть заданы 2 процесса $P_i = (N_i, E_i, F_i); i = 1, 2$

2. $P_1 \sim P_2$ тогда и только тогда, когда существует отношение $\mu \subseteq N_1 \times N_2$

удовлетворяющее следующим условиям:

a. $(N_1^0, N_2^0) \in \mu$

Для каждой пары $(N_1, N_2) \in \mu$ и каждого перехода из F_1 вида $N_1 \xrightarrow{a} N_1'$ существует переход из F_2 вида $N_2 \xrightarrow{a} N_2'$ такой что $(N_1', N_2') \in \mu$

b. Для каждой пары $(N_1, N_2) \in \mu$ и каждого перехода из F_2 вида $N_2 \xrightarrow{a} N_2'$ существует переход из F_1 вида $N_1 \xrightarrow{a} N_1'$ такой что $(N_1', N_2') \in \mu$

Алгоритм метода заканчивает свою работу, когда:

1. Нашлось хотя бы одно отношение $\mu \subseteq N_1 \times N_2$, которое удовлетворяет условиям (a,b,c), в этом случае он выдает ответ $P_1 \sim P_2$

2. Все отношения $\mu \subseteq N_1 \times N_2$ перебраны, и не одно из них не удовлетворяет условиям (a,b,c), в этом случае он выдает ответ $P_1 \neq P_2$.

В итоге автором предложен формализованный системный метод моделирования и анализа процессов управления при проектировании СУ, алгоритм применения которого состоит из следующих этапов:

1. Построение графоаналитической модели процесса управления, с помощью УФО-подхода.

2. Формальное описание графоаналитических моделей процессов управления с помощью адаптированного ПИ-исчисления.

3. Сокращение числа состояний процесса P , с помощью правил вывода ПИ-исчисления.

4. Трансляция терминов процесса P в конструкции языка PROMELA.

5. Верификация процесса P , с помощью пакета SPIN и оценка результатов.

6. Проверка эквивалентности моделей процессов.

В четвертой главе описываются результаты применения предлагаемого метода моделирования при проектировании программной СУ наружным освещением. На основе изучения системы наружного освещения построены компьютерные визуальные графоаналитические УФО-модели основных процессов управления. Графоаналитические модели реализованы с помощью программного пакета «UFO-toolkit».

На рисунке 3 показан пример визуальной графоаналитической модели процесса обработки заявки на выполнение переключения шкафа управления наружным освещением. На основе данного примера показана апробация формального системного метода моделирования и анализа процессов управления при проектировании программной СУ.

В соответствии с разработанным алгоритмом применения упомянутого метода выполнено формальное описание графоаналитической модели процесса управления, представленной на рисунке 3. Процессы, показанные на рисунке, могут быть описаны в терминах адаптированного ПИ-исчисления следующим образом:

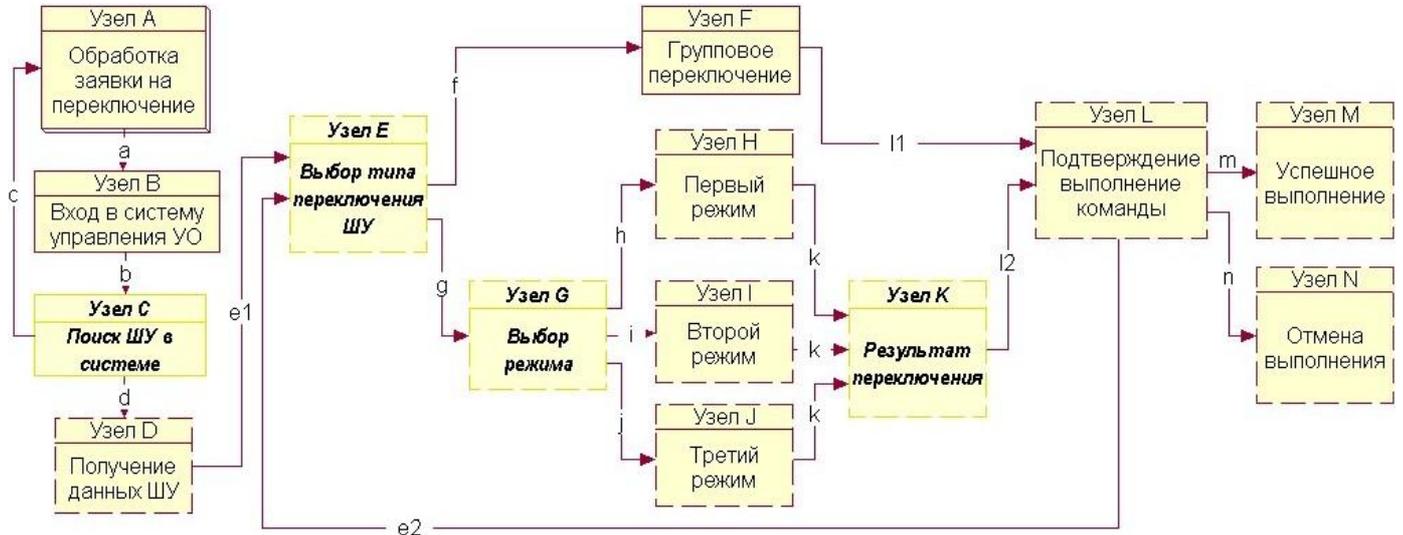


Рисунок 3. Процесс управления обработкой заявки на переключение ШУ наружным освещением.

$$A = !c(x).\tau_A.\bar{a}\langle x \rangle.0$$

$$B = !a(x).\tau_B.\bar{b}\langle x \rangle.0$$

$$C = !b(x).\tau_C.(\bar{c}\langle x \rangle.0 + \bar{d}\langle x \rangle.0)$$

$$D = d(x).\tau_D.\bar{e}\langle x \rangle.0$$

$$E = e1(x).!e2(x).\tau_E.(\bar{f}\langle x \rangle.0 | \bar{g}\langle x \rangle.0)$$

$$F = !f(x).\tau_F.\bar{l1}\langle x \rangle.0$$

$$G = !g(x).\tau_G.(\bar{h}\langle x \rangle.0 + \bar{i}\langle x \rangle.0 + \bar{j}\langle x \rangle.0)$$

$$H = !h(x).\tau_H.\bar{k}\langle x \rangle.0$$

$$I = !i(x).\tau_I.\bar{k}\langle x \rangle.0$$

$$J = !j(x).\tau_J.\bar{k}\langle x \rangle.0$$

$$K = !k(x).\tau_K.\bar{l2}\langle x \rangle.0$$

$$L = (!l1(x) | l2(x)).\tau_L.(\bar{e2}\langle x \rangle.0 + 0)$$

$$M = \tau_M.0$$

$$N = \tau_N.0$$

Таким образом, весь процесс управления переключением освещения может быть описан в виде следующих выражений:

$P = A.B.C.(A + D).E.(F + (G.(H + I + J).K)).L.(E + M)$ или

$$P = !c(x).\tau_A.\bar{a}\langle x \rangle.0 \mid !a(x).\tau_B.\bar{b}\langle x \rangle.0 \mid !b(x).\tau_C.(\bar{c}\langle x \rangle.0 + \bar{d}\langle x \rangle.0) \mid (!c(x).\tau_A.\bar{a}\langle x \rangle.0 + d(x).\tau_D.\bar{e}\langle x \rangle.0) \mid$$

$$e1(x).\tau_E.(\bar{f}\langle x \rangle.0 \mid \bar{g}\langle x \rangle.0) \mid (!f(x).\tau_F.\bar{l1}\langle x \rangle.0) \mid (!g(x).\tau_G.(\bar{h}\langle x \rangle.0 + \bar{i}\langle x \rangle.0 + \bar{j}\langle x \rangle.0) \mid$$

$$(!h(x).\tau_H.\bar{k}\langle x \rangle.0 + !i(x).\tau_I.\bar{k}\langle x \rangle.0 + !j(x).\tau_J.\bar{k}\langle x \rangle.0) \mid !k(x).\tau_K.\bar{l2}\langle x \rangle.0) \mid (!l1(x) \mid$$

$$l2(x).\tau_L.(\bar{e2}\langle x \rangle.0 + 0) \mid (e1(x).\tau_E.(\bar{f}\langle x \rangle.0 \mid \bar{g}\langle x \rangle.0 + \tau_M.0 + \tau_N.0))$$

На следующем этапе выполнена трансляция формального представления модели, описанной с помощью адаптивного ПИ-исчисления, в термины языка Promela. В результате получено следующее описание:

```
chan qs[10] = [1] of {int};
proctype validadeRequest(){...}
proctype checkObject(){...}
proctype login(){...}
proctype getObjectData(){...}
proctype selectTypeSwitch(){...}
proctype selectMode(){...}
proctype firstMode(){...}
proctype secondMode(){...}
proctype thirdMode(){...}
proctype allMode(){...}
proctype checkMode{...}
proctype confirmSwitch(){...}
proctype complete(){...}
proctype cancel (){...}
init {
  atomic{ run validadeRequest ();
    run checkObject ();
    run login ();
    run getObjectData ();
    run selectTypeSwitch ();
    run selectMode ();
    run firstMode ();
    run secondMode ();
    run thirdMode ();
    run allMode ();
    run checkMode ();
    run confirmSwitch ();
    run complete();
    run cancel();
  }
}
```

С помощью программы SPIN проверено, что модель процесса удовлетворяет определенным свойствам. Для этого введена глобальная переменная *int s*. При этом переменная *s* будет принимать значение 0 когда стартует процесс *validadeRequest()*,

значение 1 прежде чем завершится процесс *complete()*, и значение 2 прежде чем завершится процесс *selectTypeSwitch()*.

Одним из свойств, которое может быть проверено, это свойство, заключающееся в том, что в рамках данного процесса не выполнится групповое и пофазное переключение шкафа управления одновременно. Используя следующее описание *#define q (s==1)* и *#define r (s==2)*, с помощью темпоральной логики линейного времени LTL можно описать спецификацию для этого свойства так: $!(\langle \rangle (q \ \&\& \ r))$. Это свойство автоматически успешно верифицируется с помощью программы SPIN.

Еще одно свойство необходимо, чтобы проверить, что процесс в результате или выполняет переключение успешно или отклоняет переключение. Используя следующее описание *#define p (s==0)*, *#define q (s==1)* и *#define r (s==2)*, с помощью темпоральной логики линейного времени LTL можно описать спецификацию для этого свойства так: $[] (p \rightarrow \langle \rangle (q \ || \ r))$.

Стоит отметить, что данное свойство, с помощью верификатора SPIN, не было верифицировано успешно. Верификатор моделей SPIN показал ошибку. Фактически, проблема в том, что при выполнении данного процесса имеют место пути исполнения, которые могут никогда не привести процесс в состояние «Успешное выполнение» и «Отмена выполнения». Это происходит потому что, в приведенной спецификации нет никаких ограничений на количество выполненных повторных попыток переключения. Это свойство успешно верифицировалось путем ограничения числа выполнения повторных переключений.

Результаты апробации показали, что предложенный метод моделирования может успешно применяться при проектировании программных СУ. Достигается значительная стабильность и надежность СУ за счет определения неявных или скрытых параметров, также лишних блоков процесса управления, влияющих на правильность и скорость работы системы. Также применение метода исключает возникновение тупиковых и недостижимых состояний в процессах. При этом полностью исключается человеческий фактор при оценке и сравнении моделей.

В приложениях приведены примеры процессов управления, листинги программ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Теоретически обоснованы и разработаны новый формализованный метод и алгоритм системного моделирования и анализа процессов управления для проектирования программных СУ. Метод и алгоритм отличаются от существующих возможностью алгебраического описания визуальных графоаналитических моделей процессов управления, построенных с помощью системно-объектного подхода (в терминах «Узел-Функция-Объект» - УФО подход). Их использование позволяет повысить эффективность проектирования программных систем за счет возможности проведения анализа компьютерных визуальных графоаналитических моделей алгебраическими средствами путем верификации, проверки эквивалентности и сокращения числа состояний таких моделей.

1. Выполнена адаптация алгебраического аппарата ПИ-исчисления для решения задачи формального описания визуальных графоаналитических моделей процессов управления путем введения в ПИ-исчисление графического формализма.

2. Разработан способ формального описания основных конструкций процессов управления на основе адаптированного алгебраического аппарата ПИ-исчисления.

3. Разработан способ алгебраического описания графоаналитических моделей процессов управления.

4. Разработаны формализованный метод и алгоритм системного моделирования и анализа процессов управления для проектирования программных СУ, включающие в себя методы и алгоритмы верификации, сокращения числа состояний и проверки эквивалентности графоаналитических моделей процессов управления, позволяющие оценивать их формально строго.

5. Проведена апробация нового формализованного метода и алгоритма моделирования и анализа процессов управления при проектировании программной СУ наружным освещением путем построения и формального описания визуальной модели основных процессов управления наружным освещением.

6. Полученные результаты позволили повысить результативность проектирования за счет исключения человеческого фактора при оценке и сравнении моделей процессов управления и сокращения сроков проектирования.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, входящих в перечень, рекомендованный ВАК РФ

1. Михелев М.В. Формализация бизнеса с помощью графоаналитических моделей./ Жихарев А.Г., Михелев М.В., Маторин С.И., Цоцорина Н.В. //«Научные ведомости БелГУ». Сер. «История. Политология. Экономика. Информатика». – Белгород, 2009.- №1(56). – Выпуск №9/1. – С. 86-94.

2. Михелев М.В. Формализация моделей процессов на основе пи-исчисления./ Михелев М.В., Маторин С.И.// Научные ведомости БелГУ. Серия «История. Политология. Экономика. Информатика». – Белгород, 2009 г. - №9(64)2009 Выпуск 11/1 -С. 165-169.

3. Михелев М.В. Формализация УФО элементов с помощью алгебраического аппарата ПИ-исчисление. / Михелев М.В., Маторин С.И.// Научные ведомости БелГУ. Серия «История. Политология. Экономика. Информатика». – Белгород, 2010 г. - №19(90) Выпуск 16/1 - С.145-150.

4. Михелев М.В. Формализованный метод проектирования систем управления./ Михелев М.В. // Научно-технический журнал ОрелГТУ. Серия «Информационный системы и технологии» - Орел, 2011 г. - № 2 (64) март-апрель - С. 34-42.

Статьи в научных журналах и сборниках трудов

5. Михелев М.В. Моделирование бизнес-процессов в управлении наружным освещением./ Михелев М.В., Маторин С.И.// Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – Курск, 2009. - №3. - С. 136-139.

6. Михелев М.В. Формализация многоагентных систем с помощью теории паттернов. /Михелев М.В., Маторин С.И.// Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – №49.– С. 96-101.

7. Михелев М.В. Формализация МАС с помощью теории паттернов./ Михелев М.В., Маторин С.И.// Современные информационные компьютерные технологии: сб. науч. ст. в 2 ч. Ч.1/ ГрГУ им Я.Купалы. 2008г.-Гродно- С. 95-100.

Доклады в материалах и сборниках трудов научных конференций

8. Михелев М.В. К вопросу о выборе СУБД при создании информационных систем.(доклад)/ Михелев М.В., Розанов М.С.// Информационные технологии в управлении и моделировании: сб. докл. Международной науч.-технич. Интернет-конференции. – Белгород: Изд-во им В.Г. Шухова,- С. 174-179.

9. Михелев М.В. Формализация многоагентных систем с помощью теории паттернов./Михелев М.В., Маторин С.И.// Материалы VII Международной конференции «Информатика и моделирование – 2008» – Харьков, 2008. – С. 10.

10. Михелев М.В. Многоагентная система как система УФО-элементов./ Михелев М.В., Маторин С.И.// III Всероссийская молодежная конференция по проблемам управления Труды, - Москва 2008 г. - С. 258-261.

11. Михелев М.В. Формализация бизнес-процессов на основе ПИ-исчисления. ./ Михелев М.В., Маторин С.И.// Труды 3-ей Международной конференции "Системный анализ и информационные технологии (САИТ-2009)", Звенигород, сентябрь, 2009 г. – С. 517-523.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

1. Михелев М.В. Программа управления наружным освещением «Гелиос». / Лагунин Д.Ю., Дементьев А.И., Маслаков Ю.Н., Марьин В.А., Насипов И. В // Программа для ЭВМ, Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ, №2008613507 от 23 июля 2008 года.

2. Михелев М.В. Информационная система «Гермес –КНИТ БелГУ». / Михелев В.М., Хачатрян В.Е., Журавский В.С. // Программа для ЭВМ, Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ №2010612501 от 1 декабря 2009 года.