

У 1751319

7720
НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

Давудпур Марьям

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕКОМПОЗИЦИОННОГО МЕТОДА
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНЫХ СТРУКТУР

Специальность 05.13.18 – Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва-2006 г.

13 *Signature*

ДВ И.К.

Общая характеристика работы

Актуальность темы. В настоящее время задача анализа сложных дискретных структур является актуальной и находит большое количество применений при моделировании таких объектов, как центральный процессор цифровой вычислительной машины, работа склада товаров или магазина, автомобильного потока транспортной развязки и т.д. Однако, в силу исключительного разнообразия встречающихся на практике задач и недостаточной изученности их математического описания, арсенал формализации и моделирования непрерывно пополняется. Поэтому порядок структуризации, разбиение объектов на подсистемы и элементы и отбор математических схем для описания элементов нельзя считать окончательно сложившимся.

Одним из известных методов исследования процесса функционирования сложных дискретных структур является их формализация в виде простых и цветных сетей Петри. К достоинствам сетей Петри можно отнести возможность их графического представления, явное описание и действий, и состояний системы, отображение результатов моделирования непосредственно на схеме сети. Это определяет актуальность разработки и исследование методов формализации сложных дискретных устройств именно в виде простых и цветных сетей Петри.

Большинство современных методик исследования и анализа сложных дискретных структур (Баранов С.И., Норенков И.П., Черненький В.М., Емельянов С.В., Советов Б.Я., Яковлев С.А., М. Франк, А.Явор и др.) основываются на иерархических принципах, которые требуют обеспечения сквозного проектирования структур и возможности создания или использования эффективных средств анализа, ориентированных на соответствующие методы проектирования.

Предлагаемый метод проектирования позволяет осуществить анализ и контроль правильности функционирования сложной дискретной структуры, формализованной в виде сети Петри, с использованием таких методов моделирования, декомпозиции и планировании компьютерного эксперимента, при которых исследуемая структура описывается с требуемой степенью детализации.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие основные задачи:

- выполнен анализ методов проектирования и формализации дискретных иерархических структур при исследовании соответствующего класса объектов;
- предложена классификация методов декомпозиции моделей сложных

дискретных структур и программного обеспечения таких методов;

- формализован процесс анализа правильности функционирования дискретных структур в виде сети Петри;
- сформулирована задача и разработан алгоритм декомпозиции модели сложной дискретной структуры;
- разработана методика проведения компьютерного эксперимента с целью проверки правильности функционирования дискретных моделей, описывающих поведение сложных дискретных структур с помощью сетей Петри.

Решению перечисленных задач посвящены первые три главы диссертационной работы. В четвертой главе рассматриваются вопросы, связанные с разработкой программного обеспечения анализа функционирования сложных дискретных структур, декомпозиции модели структуры и проведения экспериментальных исследований правильности функционирования таких структур.

Цель диссертации

Целью данной диссертационной работы является разработка метода декомпозиции сложных дискретных структур, формализованных в виде сети Петри и разработка программного обеспечения анализа и контроля функционирования структур.

Методы исследования

Разработки и исследования проводились на основе системного анализа, математического и имитационного моделирования, теории автоматов и сетей Петри, технологий визуального и объектно-ориентированного программирования.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- разработан оригинальный алгоритм декомпозиции сложных дискретных структур, формализованных в виде сети Петри, на основе построения сети компонентных автоматов;
- предложена методика проведения компьютерного эксперимента, включающая планирование, непосредственное проведение и обработку результатов эксперимента;
- на основании предложенных методов создан программный комплекс анализа процесса функционирования сложной дискретной структуры, реализующий алгоритм декомпозиции и оценку адекватности модели дискретного устройства.

Практическая значимость и реализация результатов работы:

1. Разработанные теоретические положения доведены до практических методик, алгоритмических структур и их программных реализаций, включенных в состав программного комплекса анализа процесса функционирования сложных дискретных структур, формализованных в виде сети Петри с использованием методов моделирования, декомпози-

ции и планирования машинного эксперимента.

2. Положительные результаты внедрения позволяют рекомендовать использование созданного программного обеспечения при математическом моделировании дискретных структур, формализованных в виде сети Петри.

Апробация работы и публикации.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на конференциях «Технологии Microsoft в теории и практике программирования», Москва, 2005, 2006; Девятом научно-практическом семинаре «Новые информационные технологии в автоматизированных системах», Москва, 2006.

Публикации по теме диссертации.

По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ. Из них 4 статьи, 3 тезиса докладов на научных конференциях и семинарах.

Структура и объём диссертационной работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа содержит 152 стр., включая 56 рис., 7 таб., список литературы из 204 наименований, 14 стр. приложений и актов об использовании результатов работы.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели, приведены сведения о полученных научных и практических результатах, реализации результатов работы, дано общее описание выполненной работы.

В первой главе проведен анализ методов и моделей, использующих иерархический подход для исследования сложных дискретных устройств. На основании этого анализа в качестве типовой математической схемы формализации процесса функционирования дискретного устройства выбрана сеть Петри.

Проведенное сравнение известных методов декомпозиции сложных дискретных устройств показало универсальный характер подхода, основанного на использовании аппарата алгебры пар и возможность его применения в методах декомпозиции моделей дискретного устройства при осуществлении анализа правильности их функционирования. В работе рассмотрена классификация методов декомпозиции. Показано, что методы декомпозиции делятся по способу формализации сложных дискретных устройств на структурные, объектные и алгоритмические. К структурным относятся последовательный, параллельный и последовательно-параллельный метод.

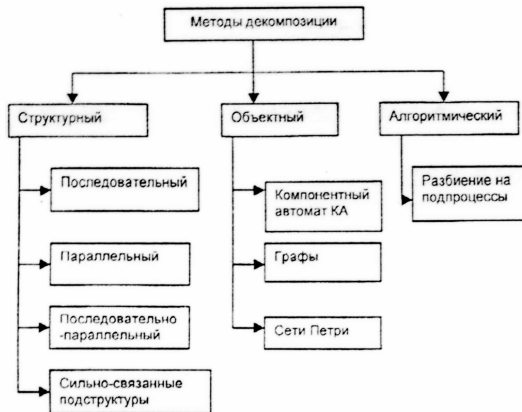


Рис.1. Методы декомпозиции

Реализации объектного метода декомпозиции различаются по математическому представлению исследуемой системы: в виде конечного автомата, графа или сети. При объектно-ориентированной декомпозиции система разбивается, в соответствии с формализацией ее элементов различными типовыми математическими моделями (компонентный подход), что позволяет в полной мере использовать преимущества иерархического подхода к проектированию сложных структур.

Выполнено сравнение языков моделирования (специальных и общего назначения), используемых при анализе правильности функционирования дискретных устройств, и обзор программных продуктов для исследования дискретных устройств, формализованных в виде сети Петри, на основании которых принято решение о разработке собственного программного обеспечения для реализации метода декомпозиции при анализе сложных дискретных устройств.

Во второй главе рассмотрены алгоритмические методы, основанные на теории автоматов, которые применяются для описания последовательных процессов при представлении сложной структуры в виде функционально зависимых состояний. Формализация процесса функционирования дискретной структуры требует рассмотрения или изменения состояний в одновременно функционирующих подсистемах и приведение их к общему состоянию. При иерархическом описании сложной структуры возникает необходимость распараллеливания связей между подструктурами. Недостатком применения графов состояний в теории автоматов является то, что из общего описания нельзя выделить одновременно протекающие процессы. Поэтому для формализации про-

цесса функционирования сложной дискретной структуры в качестве математической модели выбрана сеть Петри, дающая возможность программной и аппаратной реализации как параллельных процессов, так и всей сложной структуры в целом.

Предложена формализация процесса функционирования сложной дискретной структуры в виде сети Петри в зависимости от назначения создаваемой модели, наличия у дискретной структуры внешних воздействий, от того, является ли функция перехода детерминированной, а также от количества внутренних параметров сложной структуры.

Дискретная структура с ограниченным числом внутренних состояний и детерминированной функцией перехода представляется как конечный автомат Мили, а затем осуществляется переход к сети Петри следующим образом:

1. Для каждой дуги конечного автомата создается переход в сети Петри, получая множество переходов $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_h\}$, где h – число дуг графа, определяющего функционирование конечного автомата.

2. Для каждой вершины графа создается позиция P_q сети Петри, где $i = 1, \dots, m$ – вершина графа.

3. Для символа x_i из входного алфавита X конечного автомата создается позиция P_{x_i} .

4. Для символа y_j из выходного алфавита Y конечного автомата создается позиция P_{y_j} .

5. Задается отношение инцидентности в сети Петри.

На рис.2. представлен фрагмент сети Петри, созданный на базе конечного автомата.

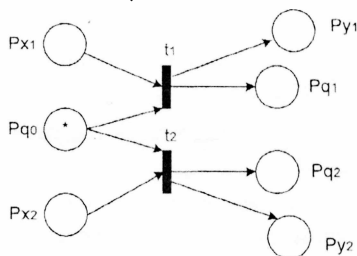


Рис.2. Фрагмент сети Петри

Для формализации процесса функционирования дискретных структур с ограниченным числом внутренних состояний и недетерминированной функцией перехода используется подход, аналогичный предыдущему, причем отличие будет состоять в том, что полученный конечный автомат не будет являться детерминированным. Способ перехода к сети Петри остается прежним.

Для формализации дискретных структур с большим количеством внутренних параметров предлагается использовать цветные сети Петри, что позволяет выполнять анализ правильности функционирования дискретной структуры с разной степенью детализации, причём модель структуры может быть формализована как в виде конечного автомата (сети конечных автоматов), так и сетью Петри.

Сформулирована задача декомпозиции модели сложной дискретной структуры следующим образом: построить сеть автоматов N такую, чтобы она реализовала сложную дискретную структуру при заданном количестве компонентных автоматов KA , их состояний и временных параметрах модели, т.е. исходными данными для выполнения алгоритма декомпозиции являются описание функционирования модели S и множество π -разбиений состояний сложной дискретной структуры.

В доказательство достаточности общей теоремы декомпозиции приводится конструктивный способ построения сети автоматов, результирующий автомат которой реализует заданный автомат. На этом способе базируется алгоритм декомпозиции формальной модели дискретной структуры, формализованной в виде сети Петри.

Алгоритм состоит из следующих действий:

1. Каждому разбиению множества состояний π_i ставится в соответствие некоторая функция F_i .

2. Образуются вспомогательные разбиения τ_i , Z_{π_i} на множестве состояний C_n модели S и Z_{π_i} на множестве входных воздействий Z_n , подаваемых на модель S .

3. Строится сеть компонентных автоматов N , для которой определяются:

- входной алфавит Z_n сети N , равный входному алфавиту модели S ;
- выходной алфавит W_n сети N , равный выходному алфавиту модели S ;
- множество компонентных автоматов KA сети N , т.е.

$$KA_i = (C_i, Z_i, \delta_i),$$

где $i = \overline{1, n}$, n - количество компонентов.

Количество состояний KA_i равно количеству блоков в разбиении π , т.е. $C_i = \pi_i$, где $\pi_i \in \{\pi\}$.

Входной алфавит KA_i определяется следующим выражением:

$$Z_i = \begin{cases} Z_{\pi_i} * Z_{\pi_i} & Z_{\pi_i} \neq 0 \\ Z_{\pi_i} & Z_{\pi_i} = 0 \end{cases},$$

где Z_{π_i} и Z_{π_i} – внутренний и внешний входной алфавит KA_i ;

Функция переходов компонентного автомата KA_i определяются:

$$\delta_i = \pi_i * Z_i \rightarrow \pi_i$$

Функции соединения компонентных автоматов: $F_i: \pi_1 * \pi_2 * \dots * \pi_n \rightarrow Z_i$,
 где π_i - разбиения на множестве состояний модели;

Множество входной функций сети: $\psi_i: Z_i \rightarrow Z_n$, где $i = \overline{1, n}$;

Множество выходной функций сети: $g_i: \pi_i * Z_i \rightarrow W_i$;

Кроме рассмотренных параметров, входящих в описание компонентного автомата, в работе определено множество времен переходов состояний KA_i следующим образом:

$$iKA_i = \{t_1^{12}, t_1^{13}, t_1^{j-1,j}, \dots, t_n^{12}, t_n^{13}, \dots, t_n^{k-1,k}\},$$

где $i = \overline{1, n}$, n - количество компонентных автоматов;

j, k - номера состояний компонентного автомата;

Из анализа алгоритма декомпозиции модели функционального блока сделан вывод о том, что

- свойства компонентных автоматов и их связи между собой зависят от выбранного множества $\{\pi_i\}$;

- число разбиений во множестве $\{\pi_i\}$ равно числу компонентных автоматов в сети N ;

- число блоков разбиений в множестве $\{\pi_i\}$ равно числу внутренних состояний компонентных автоматов.

Таким образом, разработан алгоритм декомпозиции сложной дискретной структуры, позволяющий представить модель структуры упорядоченной совокупностью моделей элементов.

В третьей главе сформулирована задача постановки имитационного эксперимента над структурами, функционирование которых формализовано в виде сети Петри, как задача определения функции отклика. В большинстве случаев вид этой функции, получаемый из теоретических соображений, является сложным для практического применения, а при неполном знании объекта он вообще неизвестен. По данным причинам функцию целесообразно представить в универсальном, удобном для практического применения виде, чему соответствует представление в виде полинома.

Рассмотрены этапы обработки результатов экспериментов, которые должны выполняться не только в случае полного или дробного факторного эксперимента, но и при реализации других планов оптимизации и описания поверхности отклика.

Выделены два этапа проведения имитационного эксперимента: организация и непосредственное проведение эксперимента и обработка результатов эксперимента.

Непосредственное проведение эксперимента можно разбить на следующие этапы:

1. Выбор факторов и откликов на сети Петри.
2. Задание области определения значений факторов в виде диапазона значений.
3. Выбор плана эксперимента.

Если в модели присутствуют случайные факторы, как например, вероятности срабатывания переходов, то задается количество повторных опытов r_u для каждой точки плана в пределах 5..7.

4. Установка соответствующих характеристик сети Петри в соответствии со значениями факторов рассматриваемой точки плана.

5. Задание критерия останова моделирования сети Петри.

6. Запуск процесса моделирования сети Петри r_u раз для u -й точки плана. Регистрация параметра сети Петри, выбранного в качестве отклика, по завершении каждого прогона сети.

Для простых (не цветных) сетей Петри с разметкой вероятностей срабатывания переходов в качестве факторов можно предложить следующие параметры модели:

- количество маркеров в позиции, обозначающей определенный входной сигнал (Px);
- наличие маркера в позиции, обозначающее состояние (Pq). Значение заданного фактора равно true, если маркер есть и false, если его нет. Такой фактор может быть только один в эксперименте, поскольку устройство может одновременно находится только в одном состоянии, а значит в сети Петри в любой момент времени может существовать только один маркер для всего множества позиций Pq , $q=1,...,u$, где u - число состояний устройства;
- значение вероятности срабатывания выбранного перехода в случае конфликтной ситуации.

В качестве откликов модели можно выбрать один из следующих параметров:

- количество срабатываний сети Петри до завершения процесса моделирования;
- количество маркеров в заданной позиции на момент останова моделирования;
- количество срабатываний заданного перехода на момент останова моделирования.

Цветные сети Петри предоставляют гораздо больше возможностей для исследования дискретных устройств. В качестве факторов в цветной сети Петри, можно использовать величины, предложенные в качестве факторов для простых сетей Петри (см. выше), дополненные следующим набором:

- инициализирующее значение для атрибута маркера в заданной

позиции;

- одна из констант, участвующих в предикате возбуждения перехода;
- одна из констант, участвующих в выражении для исходящей дуги заданного перехода.

В качестве откликов, помимо вариантов предложенных для простой сети Петри, также можно использовать следующие:

- значение заданного атрибута маркера в заданной позиции на момент окончания моделирования;
- среднее значение, принимаемое атрибутами маркеров в заданной позиции за все время моделирования.

Общая схема проведения эксперимента изображена на рис.3.

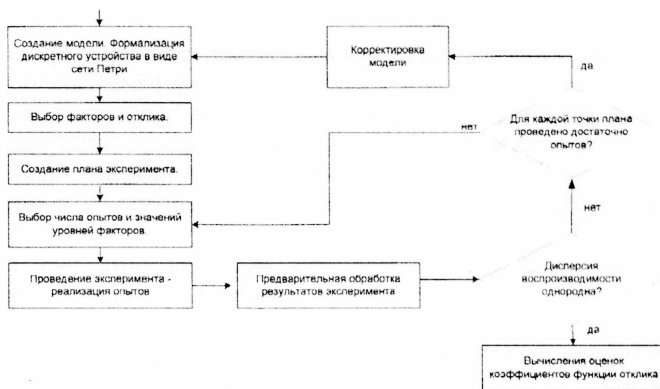


Рис.3. Схема эксперимента

Проверка адекватности математической модели при проведении эксперимента проводится только в случае ненасыщенного планирования на основе сопоставления дисперсии воспроизводимости среднего значения функции отклика $\sigma^2(y)$ и дисперсии адекватности. Оценка дисперсии адекватности при $N > m$ характеризует отклонения между результатами наблюдений и значениями, формируемыми по функции отклика

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{N-m} \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - y'_u)^2, N > m,$$

где m – количество оцениваемых коэффициентов модели;

$\bar{y}_u$ – среднее значение результатов наблюдения в u -й точке плана;

y'_u – значение отклика в этой же точке, предсказанное на модели.

Количество степеней свободы дисперсии адекватности $j_a = N - m$.

При насыщенном планировании нет степеней свободы и сумма

отклонений равна нулю.

Проверка адекватности сводится к проверке гипотезы об однородности оценки дисперсии воспроизводимости $\sigma^2(y)$ с количеством степеней свободы $j(y)$ и оценке дисперсии адекватности. Проверка осуществляется по критерию Фишера.

Если вычисленное значение критерия меньше критического, то нет оснований для сомнений в адекватности модели. Однако положительный исход статистической проверки не гарантирует достоверной адекватности, а тем более истинности модели (хотя и не противоречит такому предположению). Когда гипотеза отклоняется, следует вывод о неадекватности модели, следовательно, она заведомо не является истинной. Дальнейшее применение неадекватной модели обычно нецелесообразно, и надо принять меры по ее совершенствованию.

Причиной неадекватности могут являться: ошибки в организации и проведении опытов, например неконтролируемое изменение неучтенных в модели факторов; погрешности в задании исходных данных и в измерении результатов; большой размах варьирования факторов и другие причины. Иначе говоря, анализ причин неадекватности требует серьезного изучения сущности исследуемого процесса и методов его исследования.

Таким образом, вышеописанная методика позволяет проводить эксперименты над простыми и цветными сетями Петри для исследования влияния факторов на функцию отклика и поиска полиномиальной зависимости между функцией отклика и выбранными факторами.

Следовательно, при проведении эксперимента со структурами, формализованными в виде сети Петри, установлены факторы и отклики, причем факторы должны быть управляемыми, то есть их значения должны задаваться перед запуском процесса моделирования и поддерживаться в процессе моделирования.

В четвертой главе разработана программная система, реализующая решение поставленной задачи, с использованием структурного и объектно-ориентированного подходов. Язык программирования Object Pascal позволяет в полной мере использовать всю мощь этих подходов.

При разработке были выделены следующие модули:

- модуль TModel – содержит реализацию функциональности, связанной с созданием модели из отдельных объектов и визуализацией модели;
- модуль TDecomposition – содержит реализацию всех функций, связанных в декомпозицией модели;
- модуль TmainForm – содержит общие процедуры, используемые в

нескольких модулях;

- модуль TVerNew – модуль для заполнения структуры новых вершин после декомпозиции;
- модуль TDraw – содержит графические средства.

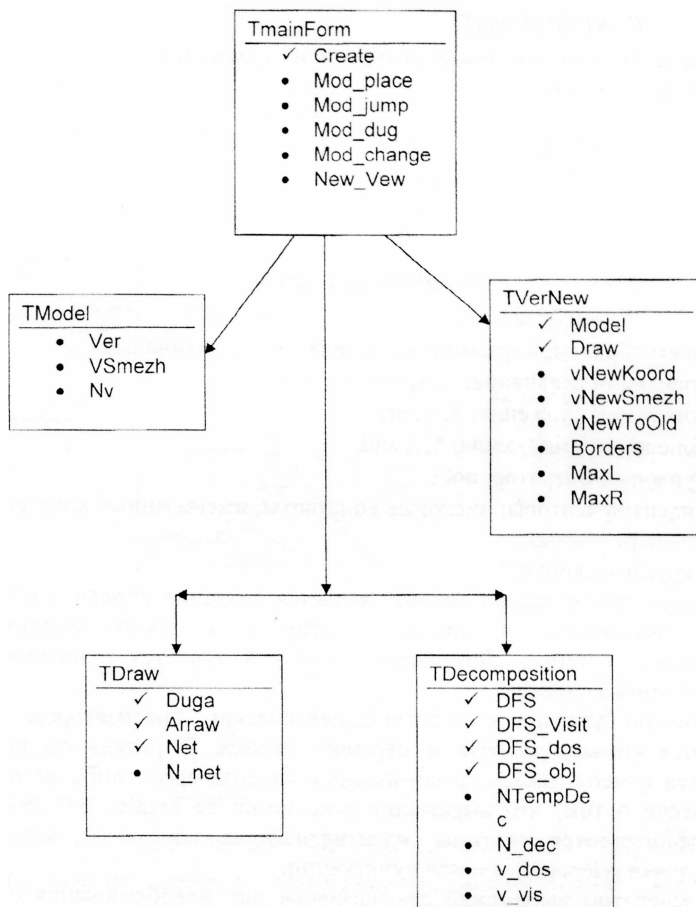


Рис.4. Структура модулей программного комплекса

Разработаны анализатор и грамматика для вычисления выражений при описании устройств в виде сети Петри, а также выполнен лексический и синтаксический анализ с целью определения ошибок.

Прежде всего, необходимо формально описать грамматику выражений, используемых в спусковой функции и на исходящих дугах.

Для обоих случаев используется одна и та же грамматика G_1 :

$$\begin{aligned} S &\rightarrow E \mid E > E \mid E \geq E \mid E < E \mid E \leq E \mid E < E \mid E = E \mid \varepsilon; \\ E &\rightarrow E + T \mid E - T \mid T; \\ T &\rightarrow T * F \mid T / F \mid T \text{ and } F \mid T \text{ or } F \mid F; \\ F &\rightarrow (S) \mid id \mid not F. \end{aligned}$$

После устранения левой рекурсии и проведения левой факторизации получаем грамматику G'_1 :

$$\begin{aligned} S &\rightarrow E \mid E > E \mid E \geq E \mid E < E \mid E \leq E \mid E < E \mid E = E \mid \varepsilon; \\ E &\rightarrow TE'; \\ E' &\rightarrow +TE' \mid -TE' \mid \varepsilon; \\ T &\rightarrow FT'; \\ T' &\rightarrow *FT' \mid /FT' \mid \text{and} FT' \mid \text{or} FT' \mid \varepsilon; \\ F &\rightarrow (S) \mid id \mid not F. \end{aligned}$$

Таким образом, в грамматике определены (терминалы):

- операции сравнения: $<$, $>$, $\leq$, $\geq$, $=$, $\neq$;
- операции сложения: $+$, $-$, or ;
- операции умножения: $*$, $/$, and ;
- унарный оператор: not ;
- идентификаторы: числовые константы, именованные константы и названия переменных;
- круглые скобки.

Целью лексического анализа является создание списка лексем из текста выражения, в процессе которого в тексте выявляются лексические ошибки. Лексической ошибкой является использование недопустимого символа.

Помимо указанных действий лексическим анализатором игнорируются символ пробела и переноса строки. В результате работы выдается список лексем, распознанных анализатором, либо возникает сообщение о том, что выражение лексически не верно. Все лексемы классифицируются на типы: идентификаторы, константы, ключевые слова, знаки операций и знаки пунктуации.

Транслятор выражений предназначен для преобразования списка лексем в список команд для стековой машины. Каждая команда - это объект соответствующего класса. Все классы, представляющие команды, реализуют интерфейс `ICommand`. Этот интерфейс содержит метод `DoCommand()`. Стековая машина использует список команд, вызывая для каждого объекта из этого списка метод `DoCommand`.

Поскольку в качестве основной технологии разработки был выбран ООП, необходимо выделить классы в разрабатываемой системе и пред-

ставить их в виде диаграмм.

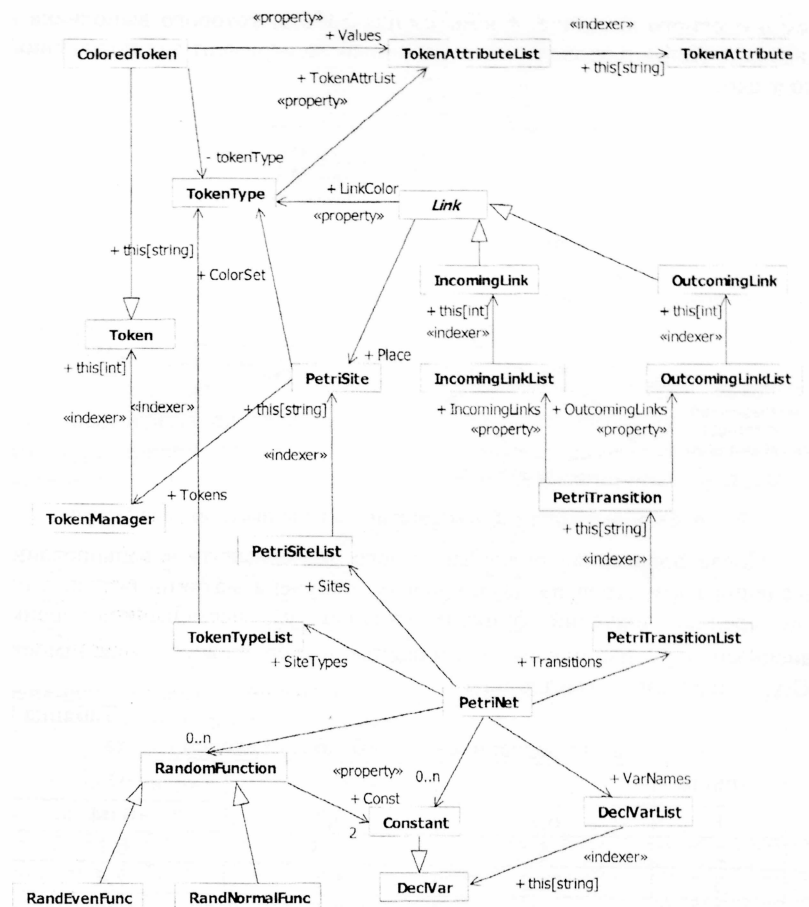


Рис.5. Основные классы программного комплекса

Технология работы программно-алгоритмического комплекса декомпозиции сложных дискретных устройств, формализованных в виде сети Петри, предоставляет пользователю возможность интерактивно вводить модель, используя интуитивно понятный интерфейс, производить моделирование исходной системы и получать результаты моделирования в графической форме.

Экспериментальная проверка разработанного подхода к анализу функционирования дискретных устройств подтвердила достоинства пре-

дложенного метода исследования.

Разработанная методика использовалась при исследовании работы компьютерного магазина, формализация работы которого выполнена в виде сети Петри и проведен имитационный эксперимент над полученной моделью.

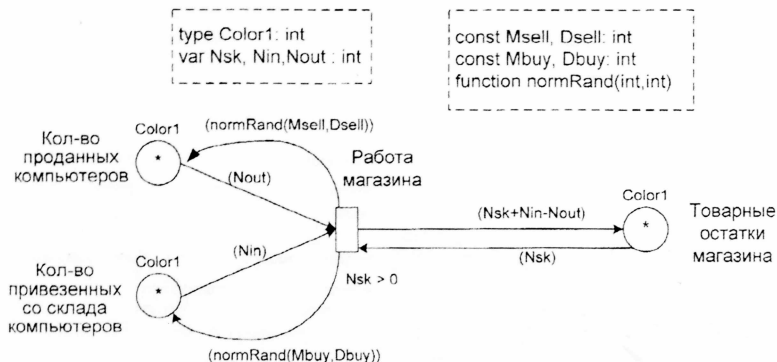


Рис.6. Формализация работы магазина в виде цветной сети Петри

После проведения полнофакторного эксперимента и варьирования значения параметров на двух уровнях, получена матрица результатов, где среднее значения функции отклика $\bar{y}_u$, несмещенная оценка дисперсии функции отклика δ^2_u и оценка дисперсии воспроизводимости $D(\bar{y}_u)$ представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты предварительной обработки эксперимента

№ опыта	$\bar{y}_u$	δ^2_u	$D(\bar{y}_u)$
1	6,2	0,2	0,04
2	5	0,5	0,1
3	12,2	3,7	7,4
4	6,6	0,3	0,06

Из анализа полученных результатов, следует сделать вывод о том, что дисперсия функции отклика неоднородна, и, вероятно, присутствуют неучтенные в эксперименте факторы (например, Dbuy или Dsell).

Сравнительные относительные временные затраты при использовании разработанного программного обеспечения (Petri06) при исследовании сложных дискретных структур, формализованных в виде сети Петри, показаны на рис.7.

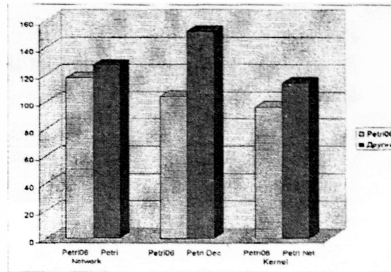


Рис.7. Экспериментальная проверка декомпозиционного метода исследования

Результаты исследований показали, что в целом разработанный алгоритм декомпозиции сложных дискретных устройств, обладает достаточной эффективностью. Анализ результатов подтвердил, что при достаточной сложности и определенной топологии системы алгоритм уменьшает время анализа процесса функционирования такого класса структур, причем также уменьшается общая вероятность ошибки в системе в силу подробного просмотра и анализа каждой подструктуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе предложен метод иерархического анализа сложных дискретных структур. При разработке этого метода получены следующие основные научные и практические результаты.

1. Проведен анализ иерархического метода исследования функционирования дискретных структур, формализованных в виде сетей Петри, методов и программных средств декомпозиции структур и осуществлен выбор автоматизированной системы анализа и контроля функционирования устройств для реализации методики иерархического исследования структур.

2. Разработан метод и алгоритм декомпозиции модели сложной дискретной структуры, формализованного в виде сети Петри, позволяющий представить дискретную структуру упорядоченной совокупностью моделей элементов для осуществления анализа и контроля правильности функционирования структуры.

3. Разработана методика проведения машинного эксперимента над моделями дискретных структур, формализованных в виде сети Петри, для доказательства адекватности модели и корректности применения иерархического метода исследования дискретных устройств.

4. Создано программное обеспечение иерархического метода исследования дискретных структур на основе разработанного алгоритма декомпозиции структур с возможностью автоматизированного проведения машинного эксперимента для анализа правильности функц-

ионирования сложных дискретных структур.

5. Основные положения метода исследования дискретных устройств апробированы на ряде практических приложений.

Публикации по теме диссертационной работы:

1. Давудпур Марьям. Классификация методов декомпозиции дискретных устройств // Информатика и системы управления в XXI веке: Сб. трудов молодых учёных, аспирантов и студентов МГТУ им. Н.Э. Баумана (М.). – 2004. – № 2. – С.171-173.

2. Давудпур Марьям. Декомпозиция дискретных систем средствами визуального программирования // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: Сб. трудов конференции МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Москва, 2005. – С.47.

3. Давудпур Марьям. Программный комплекс исследования функционирования дискретных устройств // Сборник трудов молодых учёных, аспирантов и студентов МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М., 2005. – С. 121-126.

4. Давудпур Марьям. Проведение имитационных экспериментов над дискретными устройствами, формализованными в виде сети Петри //Тезисы девятого научно-практического семинара Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – Москва, 2006. – С.174-175.

5. Давудпур Марьям, Рудаков И.В. Декомпозиционный метод исследования дискретных устройств //Информационные технологии. – (Москва). – 2006. – № 2. – С.44-49.

6. Давудпур М. Формализация процесса функционирования сложного дискретного устройства в виде сети Петри // Конференция студентов, аспирантов и молодых ученых Технологии Microsoft в теории и практике программирования МГТУ им. Н.Э. Баумана. –Москва, 2006. – С.54-55.

7. Давудпур Марьям, Рудаков И.В. Алгоритм декомпозиции формальной модели функционального блока дискретного устройства //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. приборостроение. – 2006. – № 1. – С. 90-98;

Подписано к печати 14.09.06 г. Заказ № 178 Объем 1,0 п.л. Тираж 100 экз.
Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана