МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный университет

им. Н.И. Лобачевского»

#### **Факультет вычислительной математики и кибернетики**

#### **Кафедра: Информатики и автоматизации научных исследований**

Направление: прикладная информатика

# **МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема:

**«Анализ динамических изменений параметров**

**цветных сетей Петри»**

**Допущена к защите:**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Заведующий кафедрой:**

д-р техн. наук Прилуцкий Михаил Хаимович

**Выполнил:** студент группы 86-м3

Антонов Денис Александрович

**Научный руководитель:**

д-р техн. наук Карпычев Владимир Юрьевич

Нижний Новгород  
2014

**Содержание**

Аннотация ........ 3

Введение ........ 4

Глава 1. Постановка задачи. Общее описание проблемы. ........ 6

1.1. Математическая модель цветной сети Петри ........ 7

1.2. Математическая модель процедуры анализа ........ 9

Глава 2. Разработка методов анализа ........ 12

2.1. Методы описания изменений ........ 12

2.2. Методы формирования отчета о последствиях ........ 15

Глава 3. Разработка программного средства ....... 19

3.1. Концепция проекта ....... 19

3.2. Описание функций программы ....... 20

Заключение ........ 24

Список литературы ........ 25

Приложения ........ 26

**Аннотация**

Тема магистерской диссертации: «Анализ динамических изменений параметров

цветных сетей Петри». Объектом исследования при написании работы послужила цветная сеть Петри. Предметом исследования работы стали методы анализа моделей, построенных с использованием цветных сетей Петри.

Дипломная работа состоит из введения, трех глав, заключения и приложений.

Во введении раскрывается актуальность выбранной темы и обозначается цель работы . В первой главе описаны задачи и математические модели цветной сети Петри и процедуры анализа. Во второй главе рассматриваются методы анализа моделей, описываются способы и подходы к применению этих методов. В третьей главе описана реализованная программа, набор функций, спобов применения методов анализа и результаты экспериментов.

В заключении сформулированы выводы по результатам исследования и проведенных экспериментов.

Объем дипломной работы Х страниц, на которых размещены Х рисунков и Х таблиц. При написании диплома использовалось Х источников.

**Введение**

Сети Петри – математический аппарат для моделирования динамических дискретных систем с параллельными взаимодействующими компонентами. Основные понятия в теории сетей Петри: позиции, переходы и токены (маркеры, метки).

Существуют разновидности сетей Петри. Они делятся на виды в зависимости от принципов функционирования и свойств объектов. Так, например, если токены могут быть разных типов – это цветная сеть Петри.

Моделирование с использованием цветных сетей Петри широко используется, и существуют специальные программные средства, позволяющие создавать модели, непосредственно оперируя сущностями сети Петри – определять состояния, описывать токены и функции переходов. Также, существует специальный язык программирования CPN Tools. Он позволяет моделировать процессы, используя как графический интерфейс, так и специальные синтаксические конструкции.

По определению, модель – это упрощенное представление реального процесса или явления. Готовая модель системы всегда опирается на некоторые допущения относительно свойств и параметров протекающих в ней процессов. Используемые параметры и свойства модели всегда ограничены некоторым набором значений. Иногда, ограничения связаны с недостаточностью данных о системе и/или допущением, что неиспользуемые параметры не влияют на описываемые процессы.

С другой стороны, заложить в модель всевозможные изменения параметров было бы неоправданно сложно и дорого.

Анализ существующих теоретических материалов и программных средств, показал, что на данный момент нет сложившийся теории и практических методов анализа уже построенной модели (сети Петри) в условиях изменения ее параметров вне заданных значений. Например: что будет с сетью, если некоторые переходы перестанут выполняться, или если токены начнут пропадать из состояний, при условии что такие изменения не были заложены в процессе создания модели.

Цель данной работы – разработать методы анализа цветных сетей Петри в условиях изменения свойств модели вне заданных переделов и создать программную систему для демонстрации результатов работы предложенного анализа.

**Глава 1. Постановка задачи. Общее описание проблемы**

Существующие реализации цветных сетей Петри не рассматривают вопросов анализа возможных последствий для модели в условиях изменении параметров и свойств сети вне заданных значений. Подобный анализ позволил бы выявить «узкие» места реализованной модели - непредусмотренные изменения могут привести к критическим ситуациям в моделируемой системе, анализ применяется для выявления подобных условий.

В данной работе предлагаются методы проведения анализа сети, подходы к описанию исследуемых изменений и применению их к существующей сети Петри. Для обоснования эффективности предложенных методов предлагается программная система.

**Предмет исследования**: цветные сети Петри.

**Цель:** разработать методы анализа цветных сетей Петри в условиях изменения свойств модели вне заданных переделов и создать программную систему для демонстрации результатов работы предложенного анализа.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие **задачи**:

- исследование теории цветных сетей Петри

- разработка и описание методов анализа модели, описанной цветной сетью Петри

- разработка программной системы для демонстрации предложенных методов

Разрабатываемые методы анализа не должны противоречить общей теории сетей Петри и также быть описаны формально. Эта глава посвящена исследованию теории сетей Петри и описанию математической модели анализа.

* 1. **Математическая модель цветной сети Петри**

Сеть Петри определяется пятеркой , где

,  - множество позиций;

,  - множество переходов;

 - функция следования;

 - функция предшествования;

 - начальное маркирование (состояние) сети;

 - множество положительных целых чисел.

Функции  и  задают множества дуг  и  соответственно.

Дуги, предшествующие позиции , обозначим множеством , а дуги, предшествующие переходу , множеством .

Здесь запись  означает наличие дуги , а запись  - дуги . Аналогично, дуги, следующие из  и , представим множествами , .

Входные позиции перехода  объединяются в множества его предшественников , а выходные позиции – в множества позиций–последователей .

Маркирование сети представляется вектором , где  - число меток в позиции . Переход  возбужден при маркировании  и может сработать, если выполняется условие , то есть число меток  больше или равно числу дуг , что соответствует .

Срабатывание перехода  приводит к тому, что каждая позиция  теряет  меток, а каждая из позиций  получает  меток.

Цветная сеть Петри отличается тем, что токены могут быть разных типов. Также, токены могут иметь параметры – значения свойств соответствующих типов токенов. В данной работе рассматривается введение и различных типов токенов и различных свойств токенов. Разделение на типы и добавление параметров к токенам накладывает следующие изменения в математической модели сети Петри:

- Маркирование сети теперь определяется не с помощью целых чисел (количества токенов в состояниях). Маркирование должно содержать информацию о количестве всех видов токенов в каждом состоянии и о значениях свойств в токенах.

TODO: [новая формула]

- Срабатывание перехода теперь зависит не от числа токенов во входных позициях и количестве дуг. Срабатывания переходов теперь описываются функциями от количества токенов указанных типов и значений свойств токенов. Количество дуг теперь может не иметь значения – количество токенов необходимое для срабатывания перехода, и количество токенов помещаемых в выходные позиции теперь указывается в функциях переходов, также как и значения свойств токенов.

TODO: [новая формула]

Введение цветных сетей Петри повышает удобство моделирования и позволяет описывать более сложные процессы и явления. Чем сложнее становятся модели, тем сложнее становится человеку предсказать зависимости в поведении системы. Описывая сложную систему, разработчик модели сталкивается с необходимостью разделять ее на более мелкие части и описывать их по-отдельности. Также, разработчик не может учесть всех возможных вариантов и ситуаций в системе – реализуется только та часть функциональности, которая представляет наибольший интерес и которая считается важной в описываемом процессе (по определению модель – это упрощенное представление реального процесса).

Как результат – модель системы не предусматривает определенное множество сценариев работы. И без проведения специальных исследований, предсказать хотя бы примерные последствия этих сценариев невозможно из-за сложности модели.

* 1. **Математическая модель процедуры анализа**

Анализ цветных сетей Петри в условиях изменения свойств модели вне заданных переделов опирается на допущение, что не весь диапазон возможных значений параметров сети был учтен при разработке модели. Так как Сеть Петри определяется пятеркой N = {P,T,J,O,M} – поэтому изменения параметров можно разделить на пять групп:

1. изменение параметров позиций. TODO: [новая формула]

2. изменение параметров переходов. TODO: [новая формула]

3. изменение параметров функций следования. TODO: [новая формула]

4. изменение параметров функций предшествования. TODO: [новая формула]

5. изменение параметров маркирования сети. TODO: [новая формула]

Отдельно можно отметить изменение параметров из нескольких указанных групп одновременно при заданных зависимостях между ними. Для этого введем обозначение функций от функций изменения. TODO: [новая формула]

Каждый из вариантов изменения параметров сети может быть применен как перед началом выполнения модели, так и в процессе ее работы. Динамическое изменение параметров вводит еще одну переменную в функции изменения – время (в самом простом случае это шаг выполнения сети Петри). Для возможности указания нескольких шагов или диапазона шагов, на которых нужно применить изменение, параметр «время» можно предствлять множеством целых чисел. TODO: [новая формула]

Введем формальный оператор применения функций изменения для сети петри следующим образом. TODO: [новая формула]

После применения изменений в сети Петри, необходимо собрать информацию о последствиях этих изменений в модели. Перед выполнением анализа, разработчик дожен указать как предполагаемые изменения сети, так и интересующие его параметры последствий. Изменения могут коснуться всех частей сети Петри, поэтому параметры последствий также можно разделить на пять групп:

1. Параметры последствий для позиций. TODO: [новая формула]
2. Параметры последствий для переходов. TODO: [новая формула]
3. Параметры последствий для функций следования. TODO: [новая формула]
4. Параметры последствий для функций предшествования. TODO: [новая формула]
5. Параметры последствий для параметров маркирования сети. TODO: [новая формула]

Также, разработчик может быть заинтересован в анализе последствий касающихся нескольких групп одновременно. На формирование отчета о последствиях могут быть наложены функциональные зависимости от параметров последствий. Например: разработчика интересует только случаи, когда в определнной позиции находятся более чем 10 токенов определенного типа с определенными свойствами, но только при условии что определенный переход сработал не более 20 раз.

Для описания подробных последствий введем следующее обозначение. TODO: [новая формула]

Как и в случае с параметрами изменения, в случае последствий можно ввести временную характеристику. Она показывает, что разработчика интересуют последствия примененных изменений только после прогона модели определенное количество шагов. Введем следующее обозначение. TODO: [новая формула]

Процедура анализа может быть описана следующим образом: разработчик описывает параметры возможных изменений для модели, описывает интересуемые последствия для сети и запускает сеть Петри. Процедура анализа применяет изменения в соотвествии с указанными параметрами (шаг выполнения сети, параметры сети, которые нужно изменить) и собирает статистику последствий в соответствии с указанными параметрами для последствий.

В итоге разработчик имеет возможность оценить статистику последствий и соответствующие примененные изменения. Стоит заметить, что статистика последствий может быть использована не только с целью обнаружения критических для сети изменений, но и с целью получения готовых вариантов решения возникающих проблем. Если итогом применения изменения «И1» становится возникновение критической ситуации, то примененное изменение «И2» решает возникшие проблемы и дальнейшее выполнение сети Петри не сталкивается с критическими ситуациями.

Для описания модели процесса анализа введем следующие обозначения. TODO: [новая формула]

Процесс анализа теперь формально можно описать как: TODO: [новая формула]

Предложенный анализ является инструментом исследования уже готовых моделей, построенных на основе цветных сетей Петри. Механизмы анализа не вносят изменений в структуру сети, но изменяют ее параметры. Следующим шагом в развитии теории подобного анализа сетей Петри может быть исследование изменений самой струкруры сети, когда имеется возможность удалять/добавлять состояния, переходы и функции переходов.

**Глава 2. Разработка методов анализа**

При разработке программных средств для анализа цветных сетей Петри в условиях изменения свойств модели вне заданных переделов, необходимо реализовать представление предполагаемых изменений, описать структуру вывода результатов о проведенном анализе и реализовать сам алгоритм анализа.

Процедура анализа предполагает наличие готовой модели какого-либо процеса, описанной цветной сетью Петри. Также, должны быть средства для работы с моделью, реализующие запуск сети, сбор данных о маркировании сети в любой момент времени и выполнение определенного сценария работы модели.

Средство анализа должно быть интегрировано в существующее средство моделирования и должно имееть возможность изменять параметры сети и выполнять все необходимые операции по управлению процессом выполнения сценария работы модели.

Один из вариантов интеграции является разработка специальных интерфейсов в существующем средстве моделирования, с целью реализации всех необходимых операций анализа, таких как: изменение параметров элементов сети, возврат сети в первоначальное положение, доступ ко всем данным текущего маркирования сети и т.д.

**2.1. Методы описания изменений**

В общем представлении, изменение параметра сети представляет собой указание элемента сети, набор значений параметров, которые нужно установить для элемента, и момент времени, в который нужно применить изменения.

Описание изменений будем проводить по введенной в первой главе классификации:

1. изменение параметров позиций

Позиция в сети Петри отвечает за расположение токенов. Все изменения параметров позиций связаны с расположением в тей токенов (связь позиции с переходом и ее параметры будут рассмотрены в других типах изменений). Возможные изменения для позиции: незапланированная потеря или появление токена (изменение свойств находящихся в позиции токенов относится к изменению маркирования сети). Тип токена, набор значений его параметров и время появления/потери являются параметрами изменения.

Параметры представления изменения позиции: {позиция, токен : {тип токена, набор значений свойств}, операция (появление\удаление), количество токенов (удаленных или добавленных одновременно)}

2. изменение параметров переходов

Переход в сети Петри выполняет следующие функции: проверяет готовность соответствующих функций предшествования к выполнению (готовность всех функций означает готовность перехода к активации), вызывает срабатываение функций следования, связанных с этим переходом. Во временных сетях, одним из параметров перехода является задержка работы – при наличии задержки, переход срабатывает не мнговенно, а через определенное количество времени.

Возможные изменения для перехода: изменение задержки выполнения, временное или постоянное прекращение работы, временное или постоянное безусловное срабатывание (независимо от функций предшествования).

Параметры представления изменения перехода: {переход, параметр задержки, прекращение работы : {флаг активации, временной интервал}, безусловное срабатывание : {флаг активации, временной интервал}}

3. изменение параметров функций следования

Функция следования определяет какие токены появятся в указанном состоянии после активации соответствующего перехода. Она может зависеть от функций предшествования, в функциональных цветных сетях.

Возможные изменения для фунции следования: изменение параметров уже указанных в функции токенов, изменение количества указанных токенов, удаление существующих или добавление новых токенов, постоянный или временный отказ в работе (может быть также описан через удаление всех токенов), постоянное или временное безусловное срабатываение.

4. изменение параметров функций предшествования

Функции предшествования определяют условия для активации перехода. Через них описывается требуемое состояние соответствующей позиции: наличие в ней токенов с указанными свойствами. Функция сообщает переходу что условие выполняется или не выполнется.

Возможные изменения связаны со ослаблением или ужесточением условий (добавление или удаление токенов из условия) и изменением свойств указанных токенов. Также, функция может постоянно или временно выдавать как положительный так и отрицательный результат.

5. изменение параметров маркирования сети

Маркирование сети однозначно определяет состояние сети в каждый такт времени. Так как маркирование есть совокупность токенов во всех состояниях, то изменение маркирования – это изменение состояний. Возможные изменения маркирования сети состоит из комбинации изменений ее состояний. Формат представления данного изменение – это перечисление изменений состояний. Как параметр может быть использован временной интервал.

6. Изменение параметров нескольких указанных групп одновременно при заданных зависимостях между ними

Данный тип изменения является сочетанием различных типов изменений. Параметры каждого изменения могут находиться в функциональных связях с другими или с условиями применения данного изменения (например могут зависеть от текущего шага в сети). Описание подобных изменений может использовать операции из алгебры множеств, функции от значений параметров и т.д.

**2.2. Методы формирования отчета о последствиях**

В сформированной модели всегда присутствуют инструменты анализа результатов работы. В простом случае это просто визуальное отображение маркирования сети. В сложных системах могут применяться специальные отчеты о функционировании сети, генерируемые в процессе работы и отражающие интересующие показатели.

При анализе последствий от предлогаемых в работе динамических изменений мы предлагаем ввести дополнительные механизмы оценки. Уже существующие в модели методы оценки являются частью модели и могут не учитывать появление новых ситуаций, связанных с применением непредусмотренных изменений.

Используя новые методы оценки, разработчик может подтверждать или опровергать свои предположения по поводу предполагаемых последствий или просто указывать новые интересующие его показатели модели, по которым должна быть получена статистика.

Отчет о последствиях использует параметры последствий. Параметры последствий описывают уровень детализации информации о сети. Описание последствий похоже на описание изменений. В основе всех параметров последствий лежит сбор статистики– количественные показатели произошедших событий. Особым видом статистики можно назвать получение информации о количестве применений изменений к сети с указанием времени применения.

Параметры последствий описывают при каких условиях собирается статистика и какая информация попадает в отчет. Общим параметром для всех групп параметров может являться указание критических значений свойств объектов сети. При достижении указанных значений, в статистике добавляется пометка «Критично». При большом количестве возможных изменений и большом количестве отслеживаемых параметров последствий, отчет статистики может быть очень большим. Введение специальных пометок позволяет разработчику акцентировать внимание только на критических последствиях.

Классификация параметров последствий проводится по следующим группам:

1. Параметры последствий для позиций.

Возможные данные для статистики: указывается тип токена, возможно указание значений (диапазонов значений) для токена и интересующие показатели – максимальное количество, текущее количество подобных токенов в состоянии. Временные параметры могут указывать в какой (какие моменты или временные диапазоны) собирать статистику.

2. Параметры последствий для переходов.

3. Параметры последствий для функций следования.

4. Параметры последствий для функций предшествования.

Для групп 2-4, статистика содержит одинаковые данные – количество срабатываний в определнный период времени. Для удобства анализа последствий, можно объединять эти виды последствий в один логический блок. Объединение происходит «вокруг» переходов – описываются данные статистики по переходу и потом по каждой соответствующей функции.

5. Параметры последствий для маркирования сети.

Данные о последствиях применения изменений в маркировании сети содержат данные по каждой указанной позиции. Параметром данной группы последствий могут быть условия на состояния позиций – если условия достигаются, то статистика формируется.

6. Параметры последствий для нескольких групп одновременно.

Эта группа характеризуется вводом специальных условий, накладываемых на состояния элементов сети, при достижении которых формируются данные статистики. Отслеживаемые события представляют собой достижение определенных состояний сети вцелом, но собранные данные – это совокупность данных о каждом конкретном элементе сети.

Параметры последствий являются инструментом получения ответа на вопрос «А что будет, если?». Так как примененные изменения приводят к непредусмотренным режимам работы модели, то разработчику необходимо узнать о состоянии всех важных элементов модели в новых условиях. Параметры последствий описываются для всех таких элементов.

**2.3. Методы проведения анализа**

Перед проведением анализа, необходимо подготовить существующую систему моделирования к возможности внесения изменений во все элементы сети на любом этапе выполнения ее модели.

Требуемая функциональность вводимых интерфейсов для взаимодействия с моделью определяется параметрами изменений, параметрами последствий и алгоритмом анализа. В общем случае процесс анализа должен иметь возможность изменить данные в модели, получать доступ к требуемой информации, запускать и останавливать выполнение сети.

Процедура анализа оперирует описанными параметрами изменений, для внесения корректировок в модель, и параметрами последствий, для анализа поведения модели в новых условиях.

В общем случае процедуру анализа можно описать следующей последовательностью шагов:

1. Формируется сеть с начальными параметрами.
2. К сети применяются изменения, подходящие по параметрам.
3. Запускается выполнение сети.
4. На каждом следующем шаге применяются изменения, подходящие по параметрам. Подходящие параметры последствий отвечают за формирование статистики по каждому шагу выполнения.
5. При достижении конечного для данной модели шага сети, сохранятеся статистика по текущему циклу анализа.
6. Переход на 1 шаг. Условие останова и выхода их процедуры анализа – выполнение всех установленных комбинаций параметров изменения.

Введение комбинаций параметров изменения позволяет применять не все изменения сразу, а сочетать их разным образом, для более подробного анализа модели. Комбинации могут быть построены полным перебором всех параметров изменения, или с применением специальных алгоритмов выбора изменений.

Каждый параметр последствий по определению является описанием важной для модели ситуации, поэтому комбинирование параметров последствий может привести к потере важных статистических данных.

При анализе модели, возможно использование свойств сетей Петри, таких как достижимость, ограниченность, сохраняемость и живость. Проверка этих свойств может позволить не выполнять сеть и сразу указать некоторые последствия для сети, такие как количество срабатываний перехода, количество токенов в позициях и т.д.

Задача анализа динамических изменений в общем случае не является оптимизационной задачей. Применение каждого следующего изменения может кардинально изменить модель, как в лучшую так и в худшую сторону (с точки зрения описанных критических ситуаций).

В результате анализа разработчик получает множество отчетов. Они влючают примененные изменения и данные о последствиях. Необходимо иметь систему удобного просмотра собранной статистики, как часть общей системы анализа. После проведения анализа динамических изменений, разработчик получает возможность внести конструктивные дополнения в модель с целью предотвращения критических ситуаций.

Описанные методы анализа могут быть направлены не только на поиск слабых мест в системах, но и на поиск путей решения возникающих проблем. В этом случае параметрами изменений описываются предгалаемые способы решения проблемы – а собранная статистика позволяет оценить их эффективность.

**Глава 3. Разработка программного средства**

**3.1. Концепция проекта**

В качестве языка программирования был выбран язык Java. Для реализации графической части используется Swing - библиотека для создания графического интерфейса. Выбор основывается на том, что на программирование на языке Java не накладывается никаких ограничений связанных с авторскими правами и лицензиями. Плюс технологии Swing в ориентированности на создание пользовательских интерфейсов.

Программное средство разрабатывается для демонстрации работы предложенных методов анализа цветных сетей Петри. Программа должна наглядно демонстрировать возможности применения подобного анализа в моделировании динамических дискретных систем.

Для выполнения поставленной задачи требуется создать программу, которая удовлетворяет следущим требованиям:

1. Позволяет создавать модели динамических дискретных систем.
2. Использует цветные сети Петри для создания моделей.
3. Использует цветные сети Петри для создания моделей.

На программную систему наложены следующие ограничения и предположения:

1. Для храниения данных используется их предствление в текстовом виде.
2. Одновременно в программе допускается работа только с одной моделью.
3. Результаты анализа представляются в виде текстовых файлов.

Сценарии использования (функциональность решения):

1. Пользователь может создать модель используя цветную сеть Петри.
2. Модель можно сохранить в файл и загрузить из файла.
3. Вместе с моделью создается база токенов – перечисление всех токенов в модели и описание их свойств. Базу токенов можно сохранить и загрузить отдельно.
4. При загруженной/созданной модели можно совершить следующие действия: выполнить один шаг сети Петри, или запустить автоматическое выполнение.
5. Выполнение можно остановить и внести изменения в структуру сети.
6. Перед выполнением анализа, пользователь вводит данные о параметрах изменения и параметрах последствий.
7. Анализ запускается и его нельзя остановить до полного завершения.
8. В системе нелья отменять внесенные изменения: удалять созданные элементы сети и описанные параметры анализа.
9. Результаты анализа сохраняются в виде текстовых файлов.

Стратегия архитектурного дизайна решения подразумевает расделение программной системы на компоненты (разделение представлено объединением «пакетов»):

1. “core, fileSavers ...” - отвечает за представление всех элементов цветной сети Петри, сохранение их в файлы
2. “constructor, graphicalElements” – отвечает за графическое представление конструктора для сети Петри
3. “staticNet, liveNet” – отвечает за выполнение сети Петри
4. “dynamic” – отвечает за анализ сети петри, включая формирование параметров анализа

**3.2. Описание функций программы**

Функции программы можно разделить на две группы: функции моделирования и функции проведения анализа. Моделирование позволяет описывать динамических дискретных систем с использованием цветных сетей Петри. Основные функции моделирования:

- Создание токена. При создании токена указывается его название и свойства. Свойство может быть числом или строкой. При задании свойства указывается его тип, и значение. Созданный токен попадает в базу токенов. Далее, для использования этого токена в описании параметров сети или анализа реализована функциональность выбора токена из базы. Если создается токен и его имя уже встречалось ранее – к имени добавляется символ “#”. Если создается токен который уже был в базе (имя и свойства полностью совпадают) – токен в базу не добавляется.

- Создание состояния. Состояние определяется только своим названием.Учет состояний не ведется, проверки на совпадения имен не выполняются. Все имена должны быть уникальны – это ограничение программы.

- Создание перехода. Переход определяется только своим названием. Учет переходов не ведется и проверок на совпадение названий нет. Также как и в случае с состоянием – необходимо чтобы все переходы имели уникальные названия. Параметр перехода – задержка выполнения. Реализована возможность задать переход, который сраборает только один раз – на первом шаге системы. Это позволяет произвести начальное маркирование сети используя только переходы и функции следования.

- Создание функций перехода. Функции предшествования и следования имеют разную релизацию. Создание функции начинается с указания состояния и перехода (порядок означает тип функции). При создании функции указывается следующий параметры: токен (есть возможность взять из базы токенов или создать новый) и количество таких токенов. Для функции предшествования указывается возможность сохранения токена в состоянии.

- Запуск сети. Реализовано два варианта запуска сети – запуск выполнения только следующего шага и запуск выполнения с указанием временной задержки между шагами. Также реализована возможность остановить выполнение сети. Далее, можно опять запускать сеть.

Функции проведения анализа представляют следующие возможности – описать параметры изменений, описать параметры последствий, выбрать сеть для анализа, выбрать папку для сохранения результатов анализа и запустить анализ.

Реализованы следующие параметры изменения:

- параметры изменения для перехода: название перехода, диапазон изменения задержки перехода, параметры временного прекращения работы перехода – диапазон шагов сети.

- параметры изменения для функций перехода: диапазон количества токенов.

- параметры изменения состояний: потеря или появление токена, указание количества таких токенов и интервал времени (в шагах сети) через котороый изменение повторяется.

Реализованы следующие параметры последствий:

- параметры последствий для переходов: название перехода, критическое число его срабатываний и общее число его срабатываний.

- параметры последствий для состояний: указание токена, текущего количества заданных токенов в состоянии, максимальное количество одновременно присутствующих токенов заданного типа в указанном состоянии и критическое число токенов в данном состоянии, присутствующих одновременно.

При запуске анализа указывается количество шагов для запуска сети с примененными параметрами. Статистика анализа сохраняется в текстовых файлах и состоит из описания всех параметров изменений, описания примененных параметров изменений и всех данных о последствиях. Если были достигнуты критические показатели из параметров последствий – они помечаются ключевым словом «!Критично».

Алгоритм применения изменений работает следующим образом: перебираются все сочетания изменений и применяются по очереди.

**3.3. Описание эксприментов**

Для проведения экспериментов, была выбрана модель занятия рабочей станции.

Описание модели:

...

Параметры изменения:

....

Параметры последствий:

....

Результаты анализа:

...

**Заключение**

В работе решены все поставленные задачи. Результаты исследования показывают, что предложенные методы анализа цветных сетей Петри позволяют эффективно искать потенциальные «узкие» места в модели и также находить пути выхода из критических ситуаций. Подобный анализ может применяться параллельно с разработкой модели, с целью своевременного внесения изменений и недопущения возможных критических ситуаций, которые не были учтены или не могут быть учтены в процессе конструирования.

**Список литературы**

**Приложения**