

УДК 004.75.05

К.А. Бохан, М.С. Худолей

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

АНАЛИЗ СЕТЕЙ ПЕТРИ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ CPN TOOLS

Рассматривается среда моделирования CPN Tools, которая использует язык сетей Петри для моделирования систем. Описаны особенности и приведен пример использования для анализа моделей корпоративных сервисов на основе иерархических сетей Петри.

Ключевые слова: сервис, среда моделирования, сеть Петри.

Введение

Сети Петри – инструмент исследования систем. Теория сетей Петри делает возможным моделирование системы математическим представлением ее в виде сети Петри. Предполагается, что из результатов анализа моделей на основе сетей Петри можно получить важную информацию о структуре и динамическом поведении моделируемой системы. Эта информация будет полезна для оценки моделируемой системы и выработки предложений по ее усовершенствованию и изменению.

В настоящее время разработано большое количество инструментальных средств, ориентированных на анализ моделей, представленных с помощью сетей Петри. Большинство из них является исключительно коммерческими продуктами, а те, что предлагаются для свободного использования, не обладают достаточным набором возможностей для анализа систем. Очевидно, что эффективность использования сетей Петри для моделирования систем во многом зависит от наличия и возможностей инструментальных средств. При этом модель, как и любая программа, может быть разработана на любом универсальном языке программирования, однако тогда на пути исследования возникает проблема: требуется знание не только той предметной области, к которой относится исследуемая система, но и язык программирования. Современные инструментальные средства позволяют решить эти проблему путем представления графических интерфейсов и минимизации программирования при построении моделей. Примером таких современных инструментальных средств являются: ARP tool, CoopnBuilder, CPN Tools, HISIm, Petri .NET Simulator, Petri Net Toolbox, Petruchio, Snoopy. Среди перечисленных средств большими возможностями выделяется среда моделирования CPN Tools. Рассмотрим возможности данного средства.

1. Среда моделирования CPN Tools

CPN Tools – это специальная моделирующая система, которая использует язык сетей Петри для описания моделей. Система была разработана в Уни-

верситете Орхуса в Дании и свободно распространяется для некоммерческих организаций через сайт <http://www.daimi.au.dk/CPNTools/>. Уровень предоставляемого сервиса позволяет классифицировать CPN Tools как промышленную моделирующую систему. Она используется в большом количестве реальных проектов, особенно в области телекоммуникаций [1].

1.1. Виды сетей Петри, реализованные в CPN Tools. CPN Tools представляет собой очень мощное средство моделирования, в котором возможно проводить исследование следующих видов сетей Петри:

1) временные сети Петри. Полезно ввести модельное время, чтобы моделировать не только последовательность событий, но и их привязку ко времени. Это осуществляется приданием переходам веса – продолжительности (задержки) срабатывания, которую можно определять, используя задаваемый при этом алгоритм;

2) стохастические сети Петри. Задержки на переходах являются случайными величинами;

3) функциональные сети Петри. Задержки определяются как функции некоторых аргументов, которыми могут быть количества маркеров в каких-либо позициях, состояния некоторых переходов и т.п.;

4) цветные сети Петри. Во многих задачах динамические объекты могут быть нескольких типов, и для каждого типа нужно вводить свои алгоритмы поведения в сети. В этом случае каждый маркер должен иметь хотя бы один параметр, обозначающий тип маркера. Такой параметр обычно называют цветом; цвет можно использовать как аргумент в функциональных сетях;

5) ингибиторные сети Петри. Характеризуется тем, что в них возможны запрещающие (ингибиторные) дуги. Наличие маркера во входной позиции, связанной с переходом ингибиторной дугой, означает запрещение срабатывания перехода;

6) иерархические сети Петри. Содержат не мгновенные переходы, в которые вложены другие, возможно, также иерархические сети. Срабатывание такого перехода характеризует выполнение полного жизненного цикла вложенной сети.

1.2. Основные функции CPN Tools. Основ-

ными функциями CPN Tools являются:

- создание (редактирование) моделей;
- анализ поведения моделей с помощью имитации динамики сети Петри;
- построение и анализ пространства состояний модели.

Для создания моделей предусмотрен специальный графический редактор сетей Петри. Редактор позволяет рисовать сети Петри на экране компьютера, вводить атрибуты элементов сети и дополнительные описания на языке CPN ML. Модель может состоять из нескольких страниц. Эти страницы связаны друг с другом для создания иерархической структуры [1].

Для достаточно простых моделей возможна генерация полного пространства состояний (графа достижимости). Это – лучший способ для верификации, например, телекоммуникационных протоколов. CPN Tools обеспечивает построение пространства состояний и автоматическую генерацию по нему отчёта, который содержит выводы о стандартных свойствах сетей Петри, таких как ограниченность и живость. Кроме того, предусмотрен специальный язык на основе языка CPN ML для описания запросов о нестандартных свойствах пространства состояний, которые важны для пользователя. К сожалению, для сложных моделей пространство состояний может быть слишком большим, и его построение не представляется возможным.

Единственный способ для анализа сложных моделей – это имитация их поведения. CPN Tools предусматривает пошаговую имитацию для поиска и устранения ошибок в разрабатываемой модели, а также автоматическое выполнение определенного количества шагов. Имитация на больших временных интервалах – это путь для статистического анализа поведения модели. Такой подход применяется для оценки характеристик телекоммуникационных сетей, например, пропускной способности и качества обслуживания.

Далее показаны некоторые элементы инструментального средства CPN Tools. Главное окно (рис. 1). Инструмент создания/редактирования сети (рис. 2). Контекстно-зависимое меню, вызывается по нажатию правой кнопки мыши (рис. 3). Структура модели (рис. 4):

- 1) Step – количество шагов, выполненных при имитации;
- 2) Time – текущее модельное время;
- 3) Options – опции относительно конкретной модели;
- 4) History – список команд, которые были выполнены над сетью;
- 5) Declaration – описания множеств цветов, переменных, функций, констант;



Рис. 1. Основное окно CPN Tools

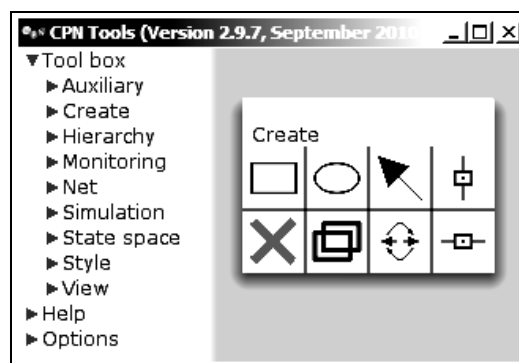


Рис. 2. Инструмент для создания/редактирования сети

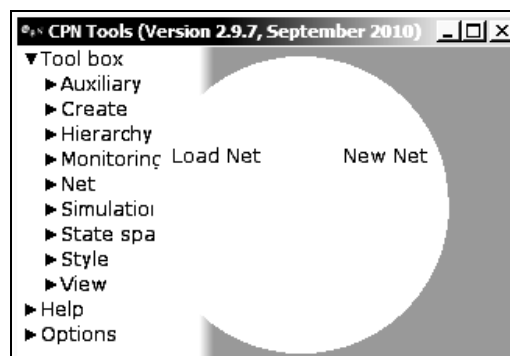


Рис. 3. Контекстно-зависимое меню

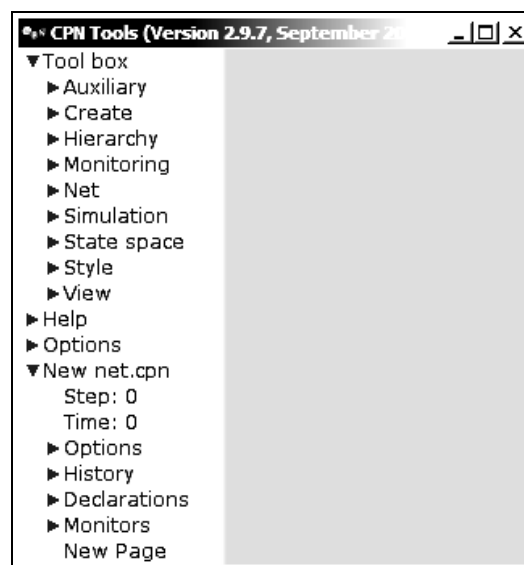


Рис. 4. Структура модели

- 6) Monitors – механизм для наблюдения, проверки, контроля, изменения моделирования сети;
- 7) New Page – название страниц сети.

2. Пример использования CPN Tools

В качестве примера использования CPN Tools выполним имитационное моделирование некоторого корпоративного сервиса, представленного в виде стохастической иерархической сети Петри [2]. Диаграмма последовательности и диаграмма классов корпоративного сервиса представлены на рис. 5 и 6.

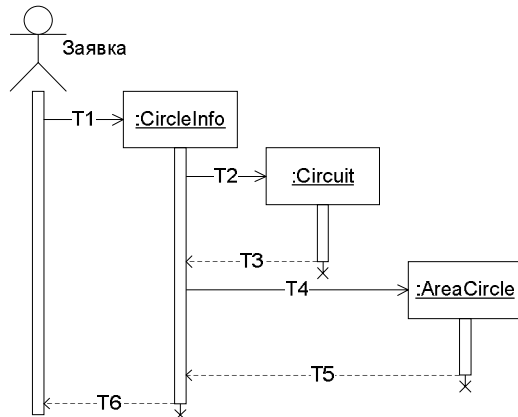


Рис. 5. Диаграмма последовательности

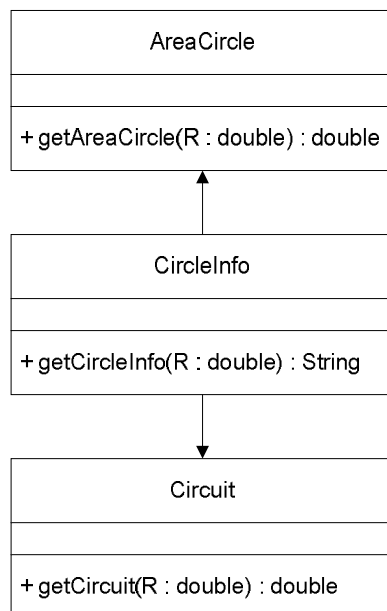


Рис. 6. Диаграмма классов

На основе диаграммы классов выделим два уровня модели:

- уровень сервиса L0;
- уровень компонент L1.

На рис. 7 представлен уровень сервиса реализованный в CPN Tools, в котором:

- clients, gen: определяют генератор заявок;
- queue, free queue: определяют очередь, длиной 20;
- push, begins, L1, ends, pop, free channel: определяют канал сервиса, L1 – уровень компонент;
- total: количество обработанных заявок.

На рис. 8 представлен уровень компонент реализованный в CPN Tools, в котором:

– T1-T6 отображают действия T1-T6 на диаграмме последовательности.

Система CPN Tools предоставляет два основных способа анализа моделей: имитация поведения сети и формирование пространства состояний.

Анализ пространства состояний возможен для небольших моделей из-за эффекта бурного роста пространства состояний. Данный анализ применяется при верификации корпоративных сервисов, когда необходима информация о стандартных свойствах сети, таких как:

1) ограниченность, определит максимальное значение заявок в очереди и др.;

2) сохранение, проверит сохраняемость моделируемого ресурса, например, канал корпоративного сервиса, очередь;

3) живость (активность), определит все активные и не активные события в модели, что в дальнейшем позволит найти “мертвые зоны” в функционировании корпоративного сервиса;

4) достижимость, проверит доступность определенного состояния при функционировании корпоративного сервиса.

Когда поведение сети достаточно сложное, можно смоделировать его на больших интервалах времени и сделать выводы о характеристиках моделируемой системы. В особенности, когда в модели широко используются случайные функции, больший интерес представляют ее статистические свойства, нежели ее пространство состояний. Например, можно имитировать поведение модели корпоративного сервиса в течение одного дня реального времени и сделать выводы о таких ее особенностях как:

- 1) среднее время обслуживания заявки,
- 2) определение максимального числа одновременно обрабатываемых заявок (нагрузочное тестирование);
- 3) оценка устойчивости сервисов;
- 4) определение оптимальных параметров функционирования сервиса: длина очереди, количество одновременно запущенных экземпляров сервиса и др.

Проведем имитацию поведения полученной модели корпоративного сервиса и произведем 500 событий. Временные характеристики переходов взяты случайным образом. В результате имитации поведения модельное время равно 7828 и конечные маркировки сетей представлены на рис. 9 и 10. Из данного анализа можно увидеть, что заявки накапливаются в очереди с увеличением времени, а это значит, что наступит момент, в котором очередь заполнится полностью и начнутся отказы поступающим заявкам. Для решения этой проблемы необходимо рассмотреть все возможные методы по улучшению системы, например, добавить еще один канал корпоративного сервиса.

L0

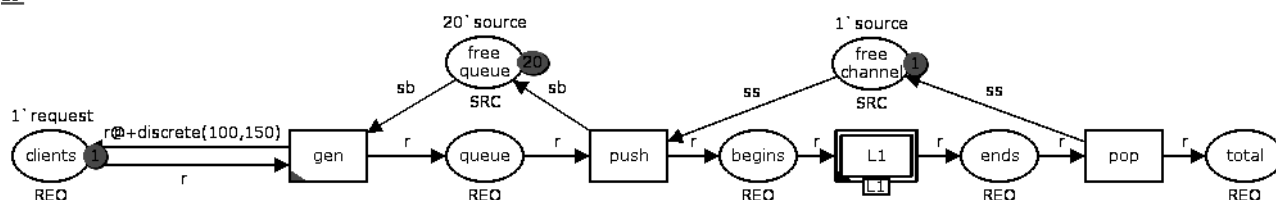


Рис. 7. Уровень сервиса

L1

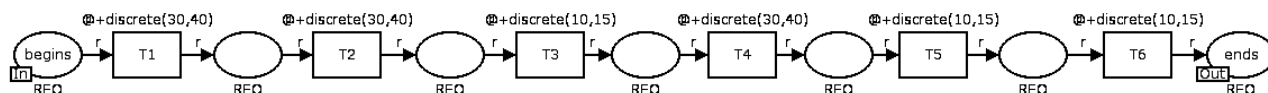


Рис. 8. Уровень компонент

L0

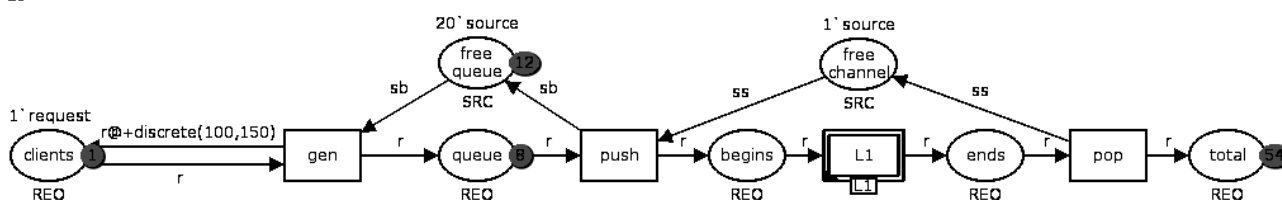


Рис. 9. Уровень сервиса после 500 событий

L1



Рис. 10. Уровень компонент после 500 событий

Заключение

CPN Tools предлагает широкие возможности для работы с временными, стохастическими, функциональными, цветными, ингибиторными и иерархическими сетями Петри.

При помощи языка CPN ML можно создавать собственные функции для более точного описания поведения моделей.

В CPN Tools реализован новый принцип графического взаимодействия, основанный на возможностях библиотеки MS OpenGL, что позволяет быстро вводить и редактировать модели, используя инструменты на панели управления и в контекстно-зависимых меню.

Данное инструментальное средство отлично подойдет для использования в различных отраслях, где для моделирования используют сети Петри.

Список литературы

1. Zaitsev D.A. *Simulating Telecommunication Systems with CPN Tools: Students' book* / D.A. Zaitsev, T.R. Shmeleva. – Odessa: ONAT, 2006. – 60 p.
2. Бохан К.А. Модели корпоративных сервисов на основе иерархических сетей Петри / К.А. Бохан, М.С. Худoley // *Радиоэлектронные и компьютерные системы*. – 2010. – Вып. 47. – С. 36-41.
3. Алиев Т.И. *Основы моделирования дискретных систем* / Т.И. Алиев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
4. Питерсон Дж. *Теория сетей Петри и моделирование систем: пер. с англ.* / Дж. Питерсон. – М.: Мир, 1984. – 264 с.

Поступила в редколлегию 27.09.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

АНАЛІЗ МЕРЕЖ ПЕТРІ В СЕРЕДОВИЩІ МОДЕЛЮВАННЯ CPN TOOLS

К.О. Бохан, М.С. Худoley

Розглядається середовище моделювання CPN Tools, що використовує мову мереж Петрі для моделювання систем. Описано особливості та наведено приклад використання для аналізу моделей корпоративних сервісів на основі ієрархічних мереж Петрі.

Ключові слова: сервіс, середовище моделювання, мережа Петрі.

THE ANALYSIS OF PETRI NETS IN THE MODELING ENVIRONMENT CPN TOOLS

K.A. Bokhan, M.S. Khudoley

The environment of modeling CPN Tools which uses language of Petri nets for modeling of systems is considered. Features are described and the example of use for the analysis of models of corporate services on the basis of hierarchical Petri nets is resulted.

Keywords: service, the modeling environment, Petri nets.