

УДК 004.94

Создание программной библиотеки для построения и моделирования цветных сетей Петри с приоритетами переходов

Сорокин Д.А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана
кафедра «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»*

*Научный руководитель: Рудаков И.В., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой
«Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»*

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана

irudakov@bmstu.ru

Введение

Аппарат сетей Петри и его модификации являются мощными средствами моделирования поведения различного рода асинхронных параллельных систем. Разнообразие модификаций сетей Петри обусловлено необходимостью учета специфических особенностей моделируемых систем в рамках конкретной постановки задачи.

Формализация процессов функционирования системы средствами сетей Петри позволяет еще на этапе проектирования описать сложные взаимосвязи между элементами системы с учетом процессов, происходящих во времени параллельно [2].

Перечень программ и инструментов, реализующих различной сложности сети Петри, можно найти на сайте [5]. К сожалению, большинство этих программ имеют обучающий характер и служат для ознакомления с правилами функционирования сети Петри [2]. Кроме того, их нельзя достроить и применить для своих целей в другом проекте. Поэтому данная статья ставит перед собой целью построение программной библиотеки классов для работы с моделью параллельной программы, формализованной в виде сети Петри.

Сети Петри

Сеть Петри является формальной графической моделью для описания асинхронных параллельных процессов. Сеть представляет собой двудольный граф с некоторым начальным состоянием, называемым начальной маркировкой M_0 . Вершины графа делятся на два типа: на позиции и переходы. Дуги соединяют переходы с позиции, а позиции — с

переходами. В графическом представлении позиции отображаются в виде кругов, а переходы — в виде прямоугольников. Дуги, соединяющие вершины, помечаются весами (целое положительное число) так, что дуга с весом N может быть рассмотрена как N параллельных дуг [3].

Маркировка сети сопоставляет каждой позиции неотрицательное целое число k , что означает, что позиция p содержит k фишек. Графически это отображается в виде k черных точек (фишек) внутри вершины p . Маркировка M задается вектором m , размер которого равен общему числу вершин-позиций. P -ая компонента этого вектора, обозначаемая как $M(p)$, указывает на число фишек в позиции p .

Таким образом, сети Петри можно представить в виде пятерки:

$$PN = (P, T, F, W, M_0),$$

где P – множество позиций, T – множество переходов, F – множество дуг между вершинами, W – весовая функция, и M_0 – изначальная маркировка:

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$$

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$$

$$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$$

$$W: F \rightarrow \{1, 2, \dots\}$$

$$M_0: P \rightarrow \{1, 2, \dots\}$$

$$P \cap T = \emptyset$$

$$P \cup T = \emptyset$$

Основные элементы сети Петри изображены на рисунке 1.

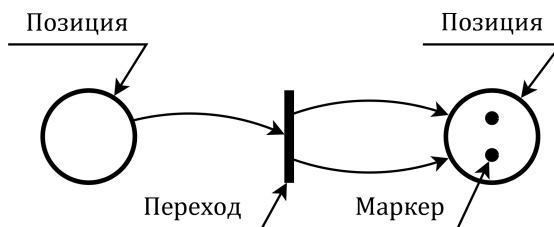


Рис. 1. Сеть Петри

Поведение многих параллельных систем может быть описано в терминах состояния системы и его изменения. Для того, чтобы смоделировать динамические характеристики системы, позиции и маркировка сети изменяется в соответствии со следующими правилами переходов [3]:

1) Переход t называется активным, если каждая входная позиция p перехода t помечена как минимум $w(p, t)$ фишками, где $w(p, t)$ – вес дуги, проведенной от позиции p до перехода t .

2) Активный переход может как сработать, так и не сработать.

Запуск активного перехода t удаляет $w(p, t)$ фишек для каждой из входных позиций p и добавляет $w(t, p)$ фишек для каждой из выходных позиций p перехода t . $w(t, p)$ – вес дуги, проведенной от перехода t до позиции p .

Существует больше число модификаций и расширений сетей Петри. Одна из них — сеть Петри с приоритетами переходов. В классической форме сетей Петри может быть активно несколько переходов, и сработать из них может любой. Такая ситуация называется конфликтом переходов. Сеть Петри с приоритетами переходов сопоставляет каждому переходу некоторое числовое значение, которое означает приоритет этого перехода над другими и сравнивается друг с другом в случае конфликта.

Другой тип модификации сети — это цветная сеть Петри. В такой сети у всех фишек есть хотя бы один параметр, обозначающий тип фишки (в самом простом случае это цвет). При этом дуги, связывающие позиции и переходы, тоже помечаются цветом, показывающим, фишки какого типа могут перейти по таким дугам.

Основные сущности

Выделим основные сущности, необходимые для проведения моделирования цветных сетей Петри с приоритетом переходов (рисунок 2):

- Позиции.
- Переходы.
- Дуги.
- Маркировка.
- Сеть Петри.
- Модель Петри.
- Дерево достижимости.

В рамках данной программной библиотеки сеть Петри является цветной сетью Петри с приоритетами переходов. Она состоит из позиций, переходов и дуг, их соединяющих. Каждая вершина-переход имеет определенный приоритет (целое

положительное число). Каждая дуга между дугами и переходами (и наоборот) имеет две характеристики: свой вес, а также цвет, задающий тип фишек, которые могут перемещаться по этим дугам.

Сеть Петри сама по себе не хранит тип и количество фишек для своих позиций. Эта информация хранится в сущности «маркировка», которая однозначно задает состояние сети в какой-либо промежуток времени. Таким образом, сущность «сеть Петри» является лишь пустым каркасом для использования другой сущностью, «моделью Петри».

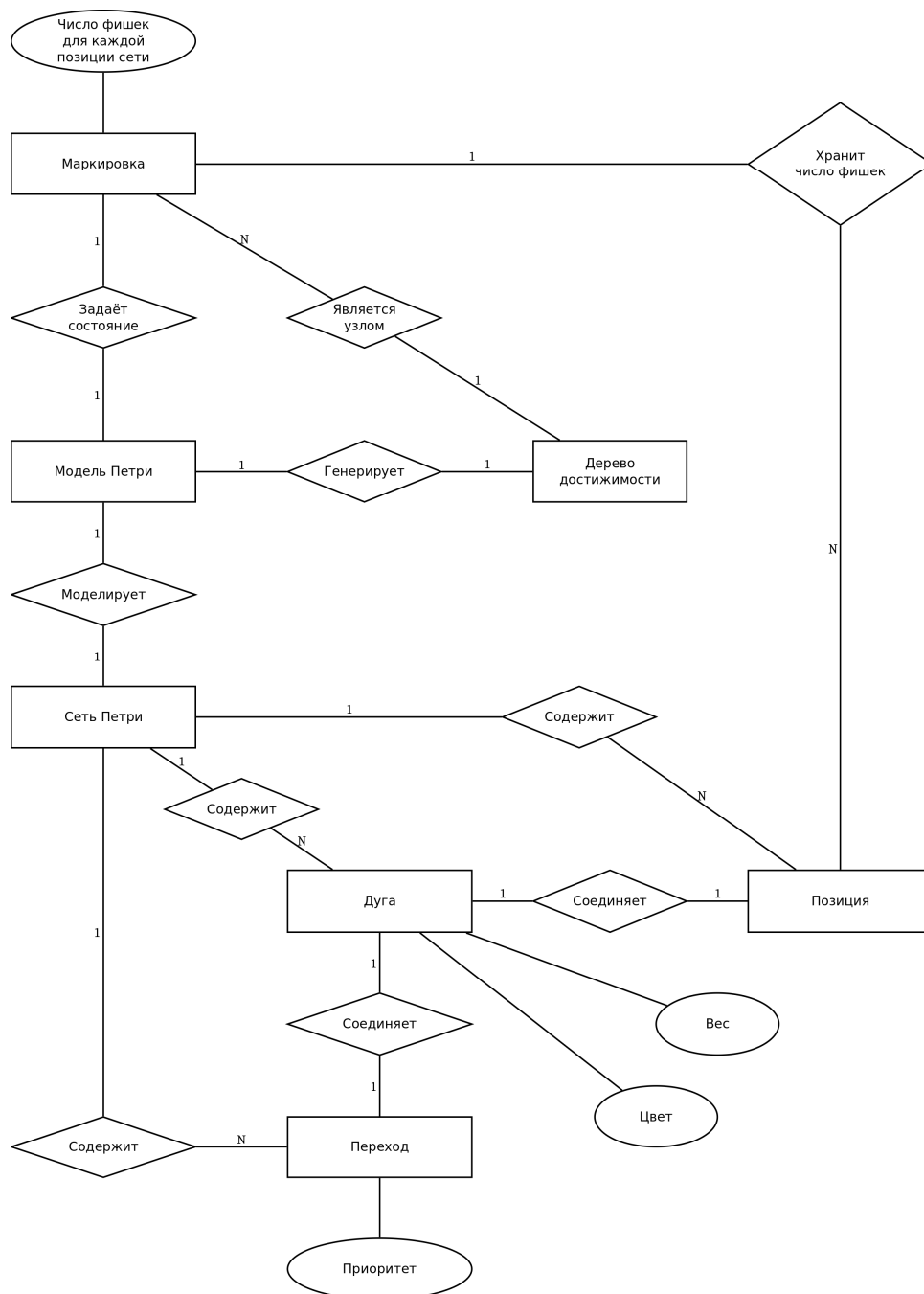


Рис. 2. Основные сущности предметной области

Модель Петри представляет собой объект, который используется для моделирования поведения сети Петри. Для этого модель использует существующую сеть Петри и хранит её текущую маркировку. В общем случае одна и та же сеть Петри может использоваться несколькими моделями для моделирования одной и той же сети, но из различных начальных маркировок. В качестве результата своей работы модель Петри может выдать на выходе дерево достижимости для данной модели. Дерево достижимости показывает как общее множество всех достижимых состояний (маркировок) из начального, так и последовательность переходов между маркировками. Алгоритм построения такого дерева подробно описано в работе [4].

Выделение классов

Используя описанные выше основные сущности выделим набор классов, необходимых для проведения моделирования цветных сетей Петри с приоритетом переходов. Классы *Place*, *Transition*, *Arc*, *PetriNet*, *PetriModel*, *ReachabilityTree* и *Marking* полностью соответствуют позиции, переходу, дуге, сети Петри, модели Петри, дереву достижимости и маркировке. Кроме того, были добавлены следующие классы: *PetriObj*, *PlaceContent*, *Color*, *ColorTable*.

Класс *PetriObj* является базовым для элементов сети Петри: позиций, дуг и переходов. Он служит для задания каждому из объектов уникального id в пределах проекта. Класс *PlaceContent* служит контейнером для задания количества фишек заданных цветов, находящихся в какой-либо позиции.

Класс *Color* служит для облегчения задания цвета фишкам и дугам сети Петри. Он задает какой либо цвет, информацию о котором можно получить с помощью класса *ColorTable*, который хранит строковое имя и цвет в формате RGBA для всех используемых цветов.

Экспорт в PNML

Для облегчения передачи сетей Петри между различными инструментами и приложениями, использующими эти сети, было разработано несколько специальных форматов описания сетей, основанных на XML-формате. Одним из них является формат *PNML* (*The Petri Net Markup Language*).

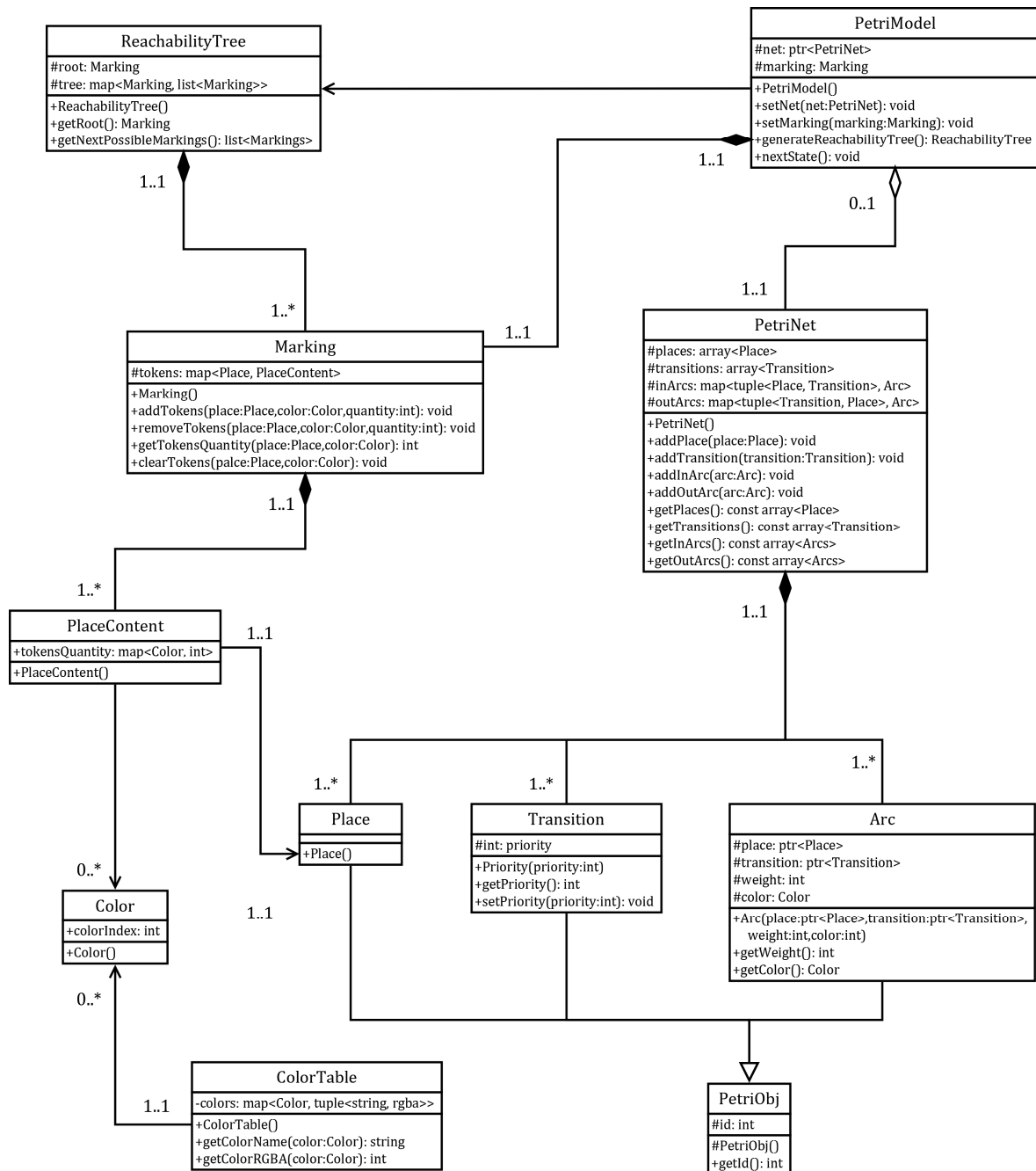


Рис. 3. Диаграмма классов для работы с сетями Петри

И хотя данный формат всё еще не является общепринятым, в настоящее время он поддерживается многими инструментами, работающими с сетями Петри. Кроме того, формат *PNML* достаточно гибкий, чтобы объединить различные типы сетей Петри, и он открыт для будущих расширений. Благодаря этому *PNML* можно рассматривать как хорошую отправную точку для дальнейшего стандарта на формат обмена сетями Петри [1].

Опишем преобразование объекта модели Петри в файл данного формата. Основной XML-элемент *PNML* – это элемент **<pnml>**, обозначающий файл сетей Петри. Внутри этого элемента находятся один или более элементов типа **<net>**, соответствующие одной сети Петри. Параметр **<name>** с вложенным элементом **<text>** задает имя сети. Для обозначения позиций, переходов и дуг между ними используют элементы **<place>**, **<transition>** и **<arc>** соответственно.

Существуют дополнительные атрибуты для задания оформления и других свойств сети. Например, элемент **<initialMarking>** задает число фишек для позиции, а элемент **<graphics>** содержит в себе набор атрибутов для задания оформления элементов сети: позиций, переходов и дуг, например:

- **<position>** – позиция объекта;
- **<offset>** – относительное смещение объекта;
- **<fill>** – цвет объекта;
- **<line>** – стиль линии;
- **** – стиль шрифта.

Таким образом, для экспорта объекта модели Петри в описание формата *PNML* достаточно создать XML-документ с корнем **<pnml>** **<net>** ... **</net>** **</pnml>**, внутри него для каждого перехода, позиции и дуги добавить элементы их описания **<place>**, **<transition>** и **<arc>** и задать их атрибуты [1]. В конечном итоге получится описание сети Петри такое, как например, на рисунке 4.

```

<pnml xmlns="http://www.example.org/pnml">
  <net id="n1" type="http://www.example.org/pnml/PTNet">
    <name>
      <text> An example P/T-net </text>
    </name>
    <place id="p1">
      <!-- атрибуты позиции -->
    </place>
    ...
    <transition id="t1">
      <!-- атрибуты перехода -->
    </transition>
    ...
    <arc id="a1" source="p1" target="t1">
      <!-- атрибуты перехода -->
    </arc>
  </net>
</pnml>

```

Рис. 4. Описание сети Петри в формате *PNML*

Заключение

В статье показан процесс проектирования программной библиотеки для построения и моделирования цветных сетей Петри с приоритетами переходов. Описан математический аппарат сетей Петри, правила срабатывания переходов, а также такие модификации сети, как цветная сеть Петри и сеть Петри с приоритетами переходов. Рассмотрены основные сущности, необходимые для моделирования сети Петри; зависимости между ними. Приведена диаграмма классов, достаточных для реализации моделирования цветных сетей Петри с приоритетами переходов. Указана описание формата PNML, используемого для передачи описания сетей Петри между различными приложениями.

Список литературы

1. Billington J., Kindler T., Christensen S., Kummer O., Petrucci L., Post R., Weber M. The Petri Net Markup Language: Concepts, Technology, and Tools // Lecture Notes in Computer Science. 2003. Vol. 2679. P. 483-505. DOI: 10.1007/3-540-44919-1_31.
2. Стеценко И. В. Алгоритм имитации Петри-объектной модели // Математические машины и системы. 2012. № 1. С. 154-165.

3. Kavi K. M., Moshtaghi A. R., Deng-Jyi C. Modeling Multithreaded Applications Using Petri Nets // International Journal of Parallel Programming. 2002. Vol. 30. Issue 5. P. 353-371. DOI: 10.1023/A:1019917329895.
4. Пашенкова А. В. Метод формализации программного обеспечения иерархическими сетями Петри // Молодежный научно-технический вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 6. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/577675.html> (дата обращения 25.11.2014).
5. University of Hamburg. Petri Nets Tools Database Quick Overview. Режим доступа: <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/tools/quick.html> (дата обращения 27.11.2014).