Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт прикладной математики и компьютерных наук

Кафедра "Информационная безопасность"

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ № 1

Имитационное моделирование. Анализ сетей Петри

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Направление подготовки: 09.03.03 Прикладная информатика
Профиль подготовки: Прикладная информатика в промышленности
Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: заочная

Тула 2021

Методические указания осставлены Сычуговым А.А., и обсуждены на заседании кафедры *«Информационная безопасность»* Института прикладной математики и компьютерных наук.

Зав. кафедрой _____ А.А. Сычугов

Оглавление

1. Цель и задачи работы 4
2. Общие положения (теоретические сведения) 4
3. Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия 10
4. Задание на работу (рабочее задание) 10
5. Ход работы (порядок выполнения работы) 11
6. Содержание отчета 11
7. Список использованных источников 11

1. Цель и задачи работы

Цель работы – освоить навыки системного анализа и алгоритмизации задачи автоматизации сложной системы.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- Освоить принципы построения сети Петри;
- Выполнить анализ сети Петри.

2. Общие положения (теоретические сведения)

Сети Петри — аппарат для моделирования динамических дискретных систем (преимущественно асинхронных параллельных процессов). Сеть Петри определяется как четверка $<\mathbf{P},\mathbf{T},\mathbf{I},\mathbf{O}>$, где $\mathbf{P}$ и $\mathbf{T}$ — конечные множества позиций и переходов, $\mathbf{I}$ и $\mathbf{O}$ — множества входных и выходных функций. Другими словами, сеть Петри представляет собой двудольный ориентированный граф, в котором позициям соответствуют вершины, изображаемые кружками, а переходам — вершины, изображаемые утолщенными черточками; функциям $\mathbf{I}$ соответствуют дуги, направленные от позиций к переходам, а функциям $\mathbf{O}$ — от переходов к позициям.

Как и в системах массового обслуживания, в сетях Петри вводятся объекты двух типов: динамические — изображаются метками (маркерами) внутри позиций и статические — им соответствуют вершины сети Петри.

Распределение маркеров по позициям называют *маркировкой*. Маркеры могут перемещаться в сети. Каждое изменение маркировки называют событием, причем каждое событие связано с определенным переходом. Считается, что события происходят мгновенно и разновременно при выполнении некоторых условий.

Каждому условию в сети Петри соответствует определенная позиция. Совершению события соответствует срабатывание (возбуждение или запуск) перехода, при котором маркеры из входных позиций этого перехода перемещаются в выходные позиции. Последовательность событий образует моделируемый процесс.

Правила срабатывания переходов (рис. 1), конкретизируют следующим образом: переход срабатывает, если для каждой из его входных позиций выполняется условие $N_i \geq K_i$, где N_i — число маркеров в i-й входной позиции, K_i — число дуг, идущих от i-й позиции к переходу; при срабатывании перехода число маркеров в i-й входной позиции уменьшается на K_i, а в j-й выходной позиции увеличивается на M_j, где M_j — число дуг, связывающих переход с j-й позицией.

На рис. 1 показан пример распределения маркеров по позициям перед срабатыванием, эту маркировку записывают в виде (2,2,3,1). После срабатывания перехода маркировка становится иной: (1,0,1,4).

Можно вводить ряд дополнительных правил и условий в алгоритмы моделирования, получая ту или иную разновидность сетей Петри. Так, прежде всего 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. Полученную модель называют *временной сетью Петри*.

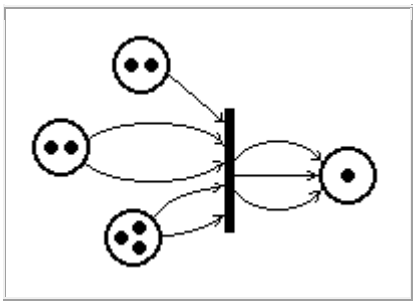


Рис. 1. Фрагмент сети Петри

Если задержки являются случайными величинами, то сеть называют *стохастической сетью Петри*. В стохастических сетях возможно введение вероятностей срабатывания возбужденных переходов. Так, на рис. 2 представлен фрагмент сети Петри, иллюстрирующий конфликтную ситуацию — маркер в позиции P может запустить либо переход t_1, либо переход t_2. В стохастической сети предусматривается вероятностный выбор срабатывающего перехода в таких ситуациях.

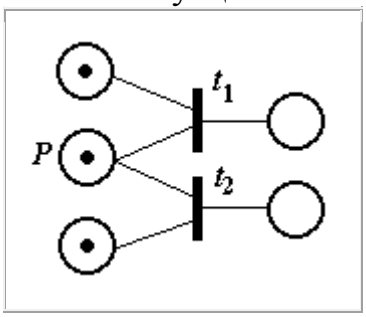


Рис. 2. Конфликтная ситуация

Если задержки определяются как функции некоторых аргументов, которыми могут быть количества маркеров в каких-либо позициях, состояния некоторых переходов и т.п., то имеем *функциональную сеть 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. Сеть при этом называют *цветной сетью Петри*.

Среди других разновидностей сетей Петри следует упомянуть *ингибиторные сети Петри*, характеризующиеся тем, что в них возможны запрещающие (ингибиторные) дуги. Наличие маркера во входной позиции,

связанной с переходом ингибиторной дугой, означает запрещение срабатывания перехода.

Введенные понятия поясним на следующих примерах.

Пример 1

Требуется описать с помощью сети Петри работу группы пользователей на единственной рабочей станции WS при заданных характеристиках потока запросов на пользование WS и характеристиках поступающих задач. Сеть Петри представлена на рис. 3.

Здесь переходы связаны со следующими событиями: t_1 — поступление запроса на использование WS, t_2 — занятие станции, t_3 — освобождение станции, t_4 — выход обслуженной заявки; позиция p_4 используется для отображения состояния WS: если в p_4 имеется метка, то WS свободна и пришедшая заявка вызывает срабатывание перехода t_2; пока эта заявка не будет обслужена, метки в p_4 не будет, следовательно, пришедшие в позицию p_1 запросы вынуждены ожидать срабатывания перехода t_3.

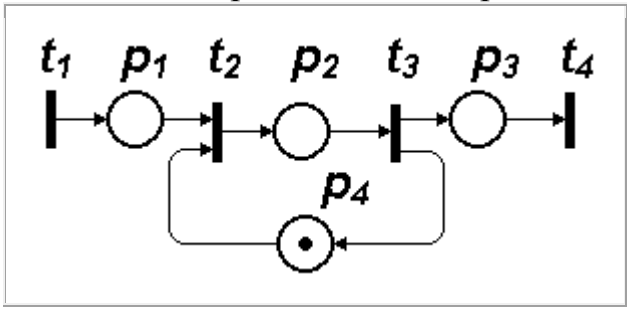


Рис. 3. Сеть Петри для примера 1

Пример 2

На рис. 4 представлена сеть Петри, соответствующая организации параллельных вычислений на основе асинхронного message passing interface.

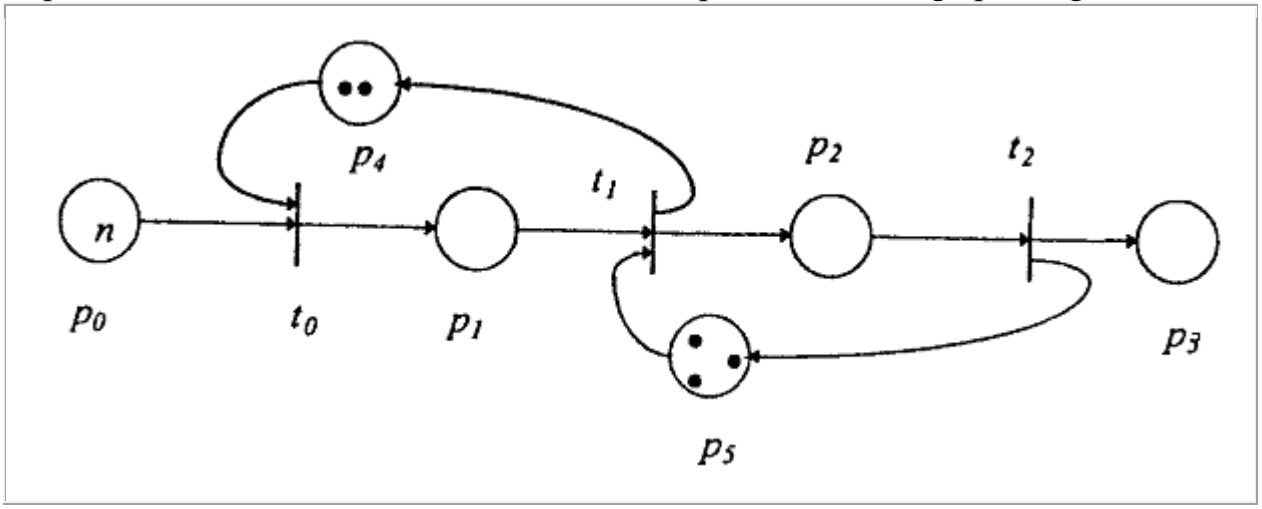


Рис. 4. Сеть Петри для примера 2

Пример 3

Требуется описать с помощью сети Петри процессы возникновения и устранения неисправностей в некоторой технической системе, состоящей из множества однотипных блоков; в запасе имеется один исправный блок;

известны статистические данные об интенсивностях возникновения отказов и длительностях таких операций, как поиск неисправностей, замена и ремонт отказавшего блока. Поиск и замену отказавшего блока производит одна бригада, а ремонт замененного блока — другая бригада. Сеть Петри показана на рис. 5. Отметим, что при числе меток в позиции, равном M, можно в ней не ставить M точек, а записать в позиции значение M.

В нашем примере значение M в позиции p_2 соответствует числу имеющихся в системе блоков. Переходы отображают следующие события: t_1 — отказ блока, t_2 — поиск неисправного блока, t_3 — его замена, t_4 — окончание ремонта.

Очевидно, что при непустой позиции p_2 переход t_1 срабатывает, но с задержкой, равной вычисленному случайному значению моделируемого отрезка времени между отказами. После выхода маркера из t_1 он попадает через p_1 в t_2, если имеется метка в позиции p_6, это означает, что обслуживающая систему бригада специалистов свободна и может приступить к поиску возникшей неисправности. В переходе t_2 метка задерживается на время, равное случайному значению длительности поиска неисправности. Далее маркер оказывается в p_3 и, если имеется запасной блок (маркер в p_4), то запускается переход t_3, из которого маркеры выйдут в p_2, p_5 и в p_6 через отрезок времени, требуемый для замены блока. После этого в t_4 имитируется восстановление неисправного блока.

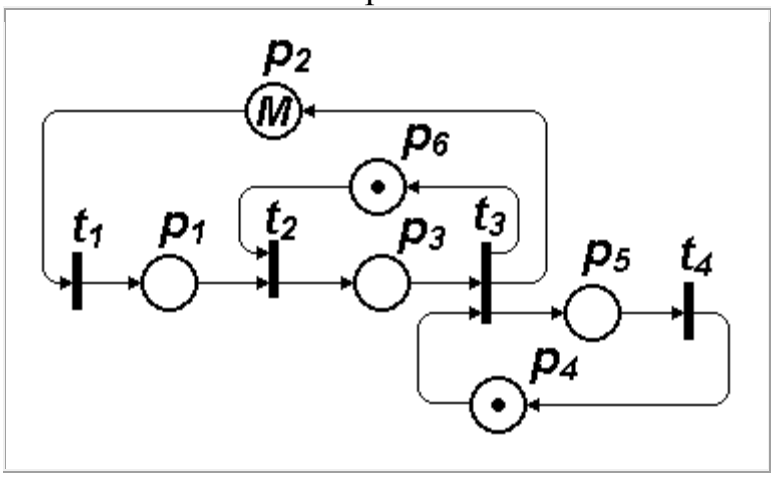


Рис. 5. Сеть Петри для примера 3

Рассматриваемая модель описывает функционирование системы в условиях, когда отказы могут возникать и в рабочем, и в неисправном состояниях системы. Поэтому не исключены ситуации, при которых более чем один маркер окажется в позиции p_1.

Анализ сетей Петри

Анализ сложных систем на базе сетей Петри можно выполнять посредством имитационного моделирования СМО, представленных моделями сетей Петри. При этом задают входные потоки заявок и определяют соответствующую реакцию системы. Выходные параметры СМО

рассчитывают путем обработки накопленного при моделировании статистического материала.

Возможен и другой подход к использованию сетей Петри для анализа объектов, исследуемых на системном уровне. Он не связан с имитацией процессов и основан на исследовании таких свойств сетей Петри, как ограниченность, безопасность, сохраняемость, достижимость, живость.

Ограниченность (или *К-ограниченностъ)* имеет место, если число меток в любой позиции сети не может превысить значения *К.* При проектировании автоматизированных систем определение *К* позволяет обоснованно выбирать емкости накопителей. Возможность неограниченного роста числа меток свидетельствует об опасности неограниченного роста длин очередей.

Безопасность – частный случай ограниченности, а именно это 1-ограниченность. Если для некоторой позиции установлено, что она безопасна, то ее можно представлять одним триггером.

Сохраняемость характеризуется постоянством загрузки ресурсов, т.е. $A_j \cdot N_j = const$, где N_j – число маркеров в j-и позиции, A_j – весовой коэффициент.

Достижимость $M_y \to M$ характеризуется возможностью достижения маркировки М из состояния сети, характеризуемого маркировкой M_y.

Живость сети Петри определяется возможностью срабатывания любого перехода при функционировании моделируемого объекта. Отсутствие живости либо означает избыточность аппаратуры в проектируемой системе, либо свидетельствует о возможности возникновения зацикливаний, тупиков, блокировок.

В основе исследования перечисленных свойств сетей Петри лежит *анализ достижимости.*

Один из методов анализа достижимости любой маркировки из состояния M_0 – построение графа достижимости. Начальная вершина графа отображает M_0, а остальные вершины соответствуют маркировкам. Дуга из M_y в М означает событие $M_y \to M$ и соответствует срабатыванию перехода t. В сложных сетях граф может содержать чрезмерно большое число вершин и дуг. Однако при построении графа можно не отображать все вершины, так как многие из них являются дублями (действительно, от маркировки м£ всегда порождается один и тот же подграф вне зависимости от того, из какого состояния система пришла в M_A). Тупики обнаруживаются по отсутствию разрешенных переходов из какой-либо вершины, т. е. по наличию листьев – терминальных вершин. Неограниченный рост числа маркеров в какой-либо позиции свидетельствует о нарушениях ограниченности.

Приведем примеры анализа достижимости.

Пример 4. Сеть Петри и граф достижимых разметок представлены на рис. 10.

На рисунке вершины графа изображены в виде маркировок, дуги помечены срабатывающими переходами. Живость сети очевидна, так как срабатывают все переходы, тупики отсутствуют.

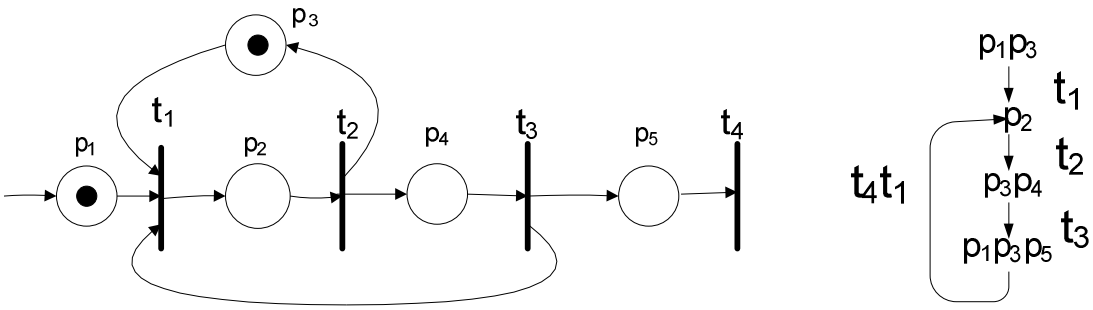


Рис. 10. Сеть Петри и ее граф достижимости к примеру 3

Пример 5. Сеть Петри и граф достижимых разметок представлены на рис. 11. Сеть, моделирующая двухпроцессорную вычислительную систему с общей памятью, является живой, все разметки достижимы.

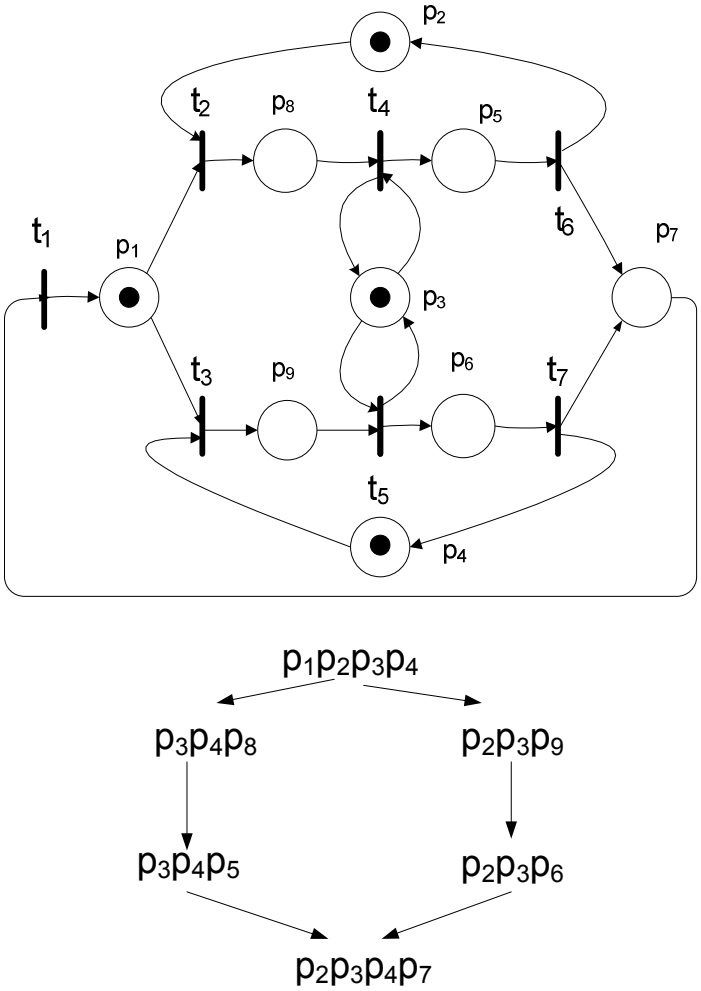


Рис. 11. Сеть Петри и ее граф достижимости к примеру 4

3. Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия

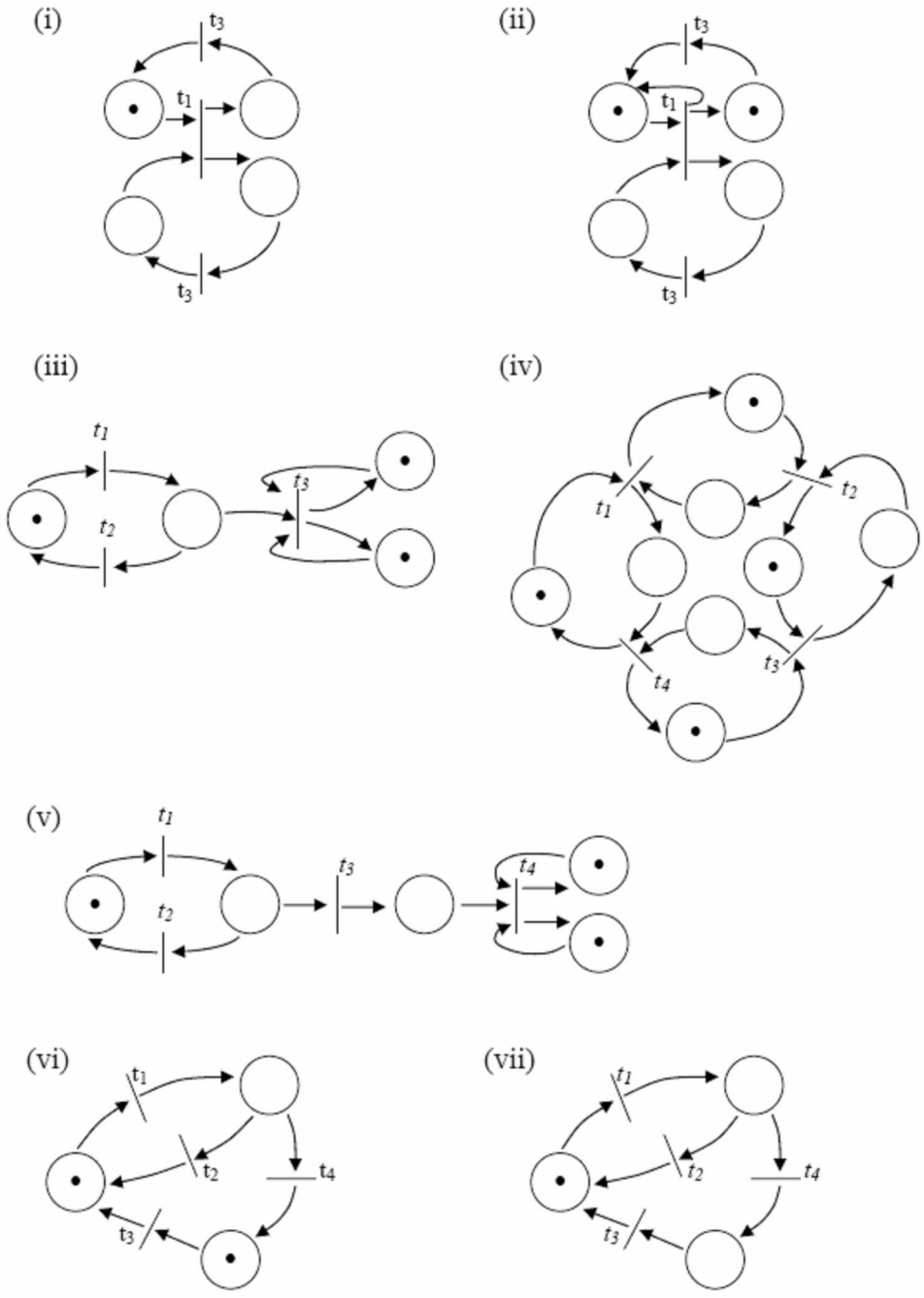
Объектом исследования данной лабораторной работы является сеть Петри.

Для выполнения работы необходимы ПК и соответствующее программное обеспечение:

- MS WINDOWS;
- MS Office (для оформления отчета).

4. Задание на работу (рабочее задание)

Исследовать сеть Петри и ее параметры.



5. Ход работы (порядок выполнения работы)

Для выполнения лабораторной работы необходимо:

1) Ознакомиться с теоретической справкой;

2) Выполнить анализ сети Перти;

3) Оформить отчет по лабораторной работе;

4) Защитить работу преподавателю, ответив на вопросы по ее содержанию и выполнению.

6. Содержание отчета

В отчете должны присутствовать следующие пункты:

1) задание;

2) Граф достижимости сети Петри;

3) Выводы.

7. Список использованных источников

1. Ямникова О.А. Разработка САПР: учеб. пособие / О.А. Ямникова. – Тула: Издв-во ТулГУ, 2010 – 67 с.

2. Черненький, В.М. Имитационное моделирование / В.М. Черненький. — М.: Высш. шк., 1990.