

Задание для самостоятельного выполнения

Отчёт по лабораторной работе №13

Ибатулина Дарья Эдуардовна

Содержание

1	Вводная часть	4
1.1	Цель и задачи	4
1.2	Теоретическое введение	4
2	Выполнение лабораторной работы	6
2.1	Схема модели	6
2.2	Описание модели	6
2.3	Анализ сети Петри	8
2.4	Реализация модели в CPN Tools	9
2.5	Пространство состояний	12
3	Выводы	17
	Список литературы	18

Список иллюстраций

2.1	Сеть для выполнения домашнего задания	8
2.2	Дерево достижимости	9
2.3	Модель задачи в CPN Tools	10
2.4	Задание деклараций	11
2.5	Запуск модели	12
2.6	Граф пространства состояний	12

1 Вводная часть

1.1 Цель и задачи

1. Используя теоретические методы анализа сетей Петри, провести анализ сети (с помощью построения дерева достижимости). Определить, является ли сеть безопасной, ограниченной, сохраняющей, имеются ли тупики.
2. Промоделировать сеть Петри с помощью CPNTools.
3. Вычислить пространство состояний. Сформировать отчёт о пространстве состояний и проанализировать его. Построить граф пространства состояний [1].

1.2 Теоретическое введение

Протоколы передачи данных - это наборы правил, определяющих порядок и способы обмена информацией между участниками вычислительных или телекоммуникационных систем. Они регулируют формат сообщений, последовательность их передачи, временные интервалы, а также методы обнаружения и исправления ошибок. В современной практике протоколы используются на всех уровнях модели OSI, начиная с физического и заканчивая прикладным [2].

Реальные протоколы передачи данных часто имеют сложную структуру, что затрудняет их анализ и отладку. Для исследования их свойств и выявления возможных ошибок широко применяется моделирование, в частности, с помощью сетей Петри и их расширений - раскрашенных сетей Петри (Coloured Petri Nets,

CPN). Этот подход позволяет наглядно представить процессы передачи и подтверждения данных, а также учесть такие важные аспекты, как потеря пакетов и подтверждений, задержки и порядок доставки [3].

В данной лабораторной работе рассматривается простейший протокол передачи данных в ненадёжной сети. Передача осуществляется по следующему принципу: отправитель разбивает исходное сообщение на части (пакеты) и отправляет их получателю, ожидая подтверждения (ACK) о доставке каждого пакета перед отправкой следующего. Если подтверждение не получено (например, из-за потери пакета или ACK), пакет передаётся повторно. Такой механизм обеспечивает надёжность передачи даже в условиях, когда сеть может терять отдельные сообщения.

Модель протокола строится в среде CPN Tools с использованием раскрашенных сетей Петри, что позволяет формально описать все возможные состояния системы и переходы между ними, а также смоделировать случайные потери пакетов и подтверждений. Анализ полученной модели даёт возможность оценить корректность работы протокола, выявить возможные тупиковые состояния и оптимизировать алгоритмы передачи данных [4].

2 Выполнение лабораторной работы

2.1 Схема модели

Заявка (команды программы, операнды) поступает в оперативную память (ОП), затем передается на прибор (центральный процессор, ЦП) для обработки. После этого заявка может равновероятно обратиться к оперативной памяти или к одному из двух внешних запоминающих устройств (В1 и В2). Прежде чем записать информацию на внешний накопитель, необходимо вторично обратиться к центральному процессору, определяющему состояние накопителя и выдающему необходимую управляющую информацию. Накопители (В1 и В2) могут работать в 3-х режимах:

- 1) В1 — занят, В2 — свободен;
- 2) В2 — свободен, В1 — занят;
- 3) В1 — занят, В2 — занят.

2.2 Описание модели

Сеть Петри моделируемой системы представлена на рис. 2.1.

Множество позиций:

- Р1 — состояние оперативной памяти (свободна / занята);
- Р2 — состояние внешнего запоминающего устройства В1 (свободно / занято);
- Р3 — состояние внешнего запоминающего устройства В2 (свободно / занято);
- Р4 — работа на ОП и В1 закончена;

P5 — работа на ОП и B2 закончена;

P6 — работа на ОП, B1 и B2 закончена;

Множество переходов:

T1 — ЦП работает только с RAM и B1;

T2 — обрабатываются данные из RAM и с B1 переходят на устройство вывода;

T3 — CPU работает только с RAM и B2;

T4 — обрабатываются данные из RAM и с B2 переходят на устройство вывода;

T5 — CPU работает только с RAM и с B1, B2;

T6 — обрабатываются данные из RAM, B1, B2 и переходят на устройство вывода.

Функционирование сети Петри можно рассматривать как срабатывание переходов, в ходе которого происходит перемещение маркеров по позициям:

- работа CPU с RAM и B1 отображается запуском перехода T1 (удаление маркеров из P1, P2 и появление в P1, P4), что влечет за собой срабатывание перехода T2, т.е. передачу данных с RAM и B1 на устройство вывода;
- работа CPU с RAM и B2 отображается запуском перехода T3 (удаление маркеров из P1 и P3 и появление в P1 и P5), что влечет за собой срабатывание перехода T4, т.е. передачу данных с RAM и B2 на устройство вывода;
- работа CPU с RAM, B1 и B2 отображается запуском перехода T5 (удаление маркеров из P4 и P5 и появление в P6), далее срабатывание перехода T6, и данные из RAM, B1 и B2 передаются на устройство вывода;
- состояние устройств восстанавливается при срабатывании: RAM — переходов T1 или T2; B1 — переходов T2 или T6; B2 — переходов T4 или T6.

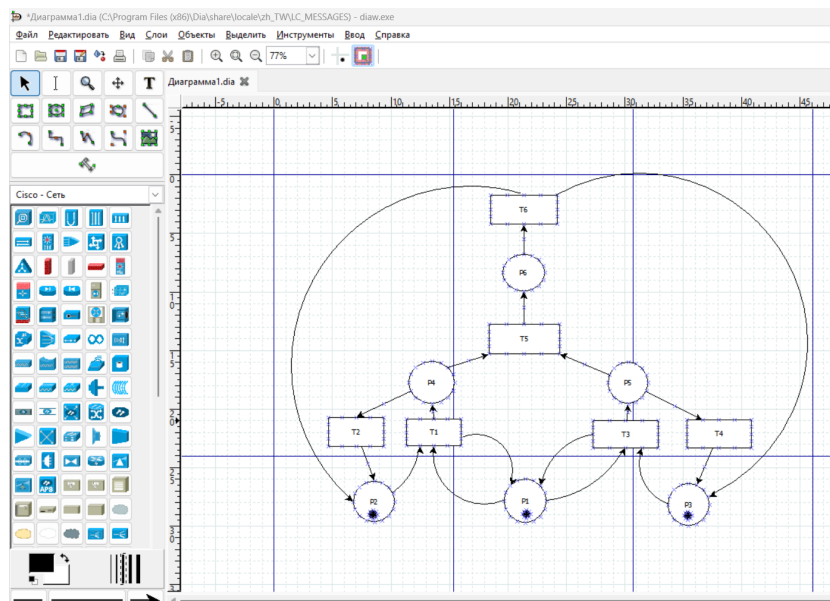


Рис. 2.1: Сеть для выполнения домашнего задания

2.3 Анализ сети Петри

Построим дерево достижимости (рис. 2.2).

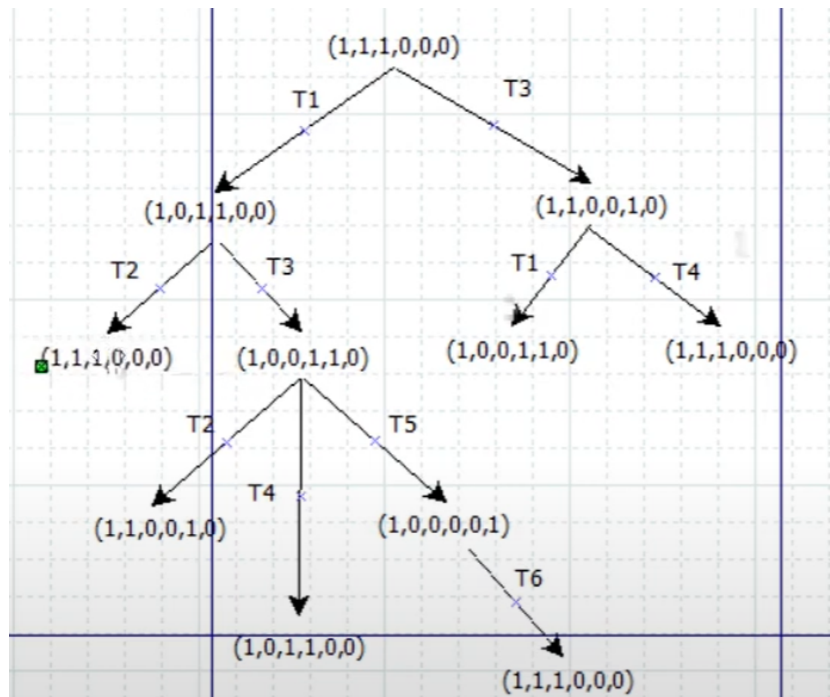


Рис. 2.2: Дерево достижимости

Можем увидеть, что представленная сеть:

- безопасна, поскольку в каждой позиции количество фишек не превышает 1;
- ограничена, так как существует такое целое k , что число фишек в каждой позиции не может превысить k (в данном случае $k=1$);
- сеть не имеет тупиков;
- сеть не является сохраняющей, так как при переходах t_5 и t_6 количество фишек меняется.

2.4 Реализация модели в CPN Tools

Реализуем описанную ранее модель в CPN Tools. С помощью контекстного меню создаем новую сеть, далее нам понадобятся 6 позиций и 6 блоков переходов, затем их нужно соединить, а также задать параметры и начальные значения.

Получаем готовую модель (рис. 2.3).

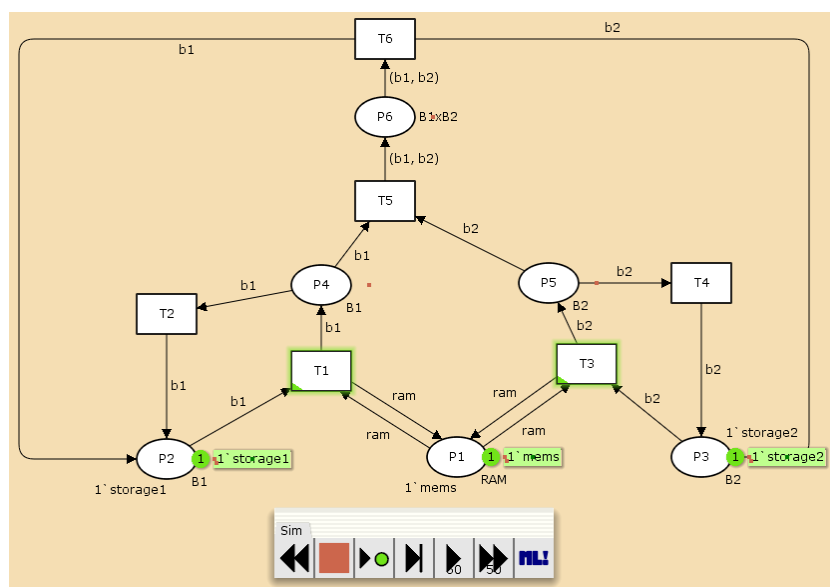


Рис. 2.3: Модель задачи в CPN Tools

Также зададим нужные декларации (рис. 2.4).

- ▶ Tool box
- ▶ Help
- ▶ Options
- ▼ lab13.cpn
 - Step: 0
 - Time: 0
 - ▶ Options
 - ▶ History
 - ▼ Declarations
 - ▼ Standard declarations
 - ▼ colset UNIT = unit;
 - ▼ colset INT = int;
 - ▼ colset BOOL = bool;
 - ▼ colset STRING = string;
 - ▼ memory
 - ▼ colset RAM = unit with mem;
 - ▼ colset B1 = unit with storage1;
 - ▼ colset B2 = unit with storage2;
 - ▼ colset B1xB2 = product B1*B2;
 - ▼ var b1:B1;
 - ▼ var b2:B2;
 - ▼ var ram:RAM;
 - ▼ Monitors
 - petri-net

Рис. 2.4: Задание деклараций

Запустив модель, можно посмотреть, как она работает (рис. 2.5).

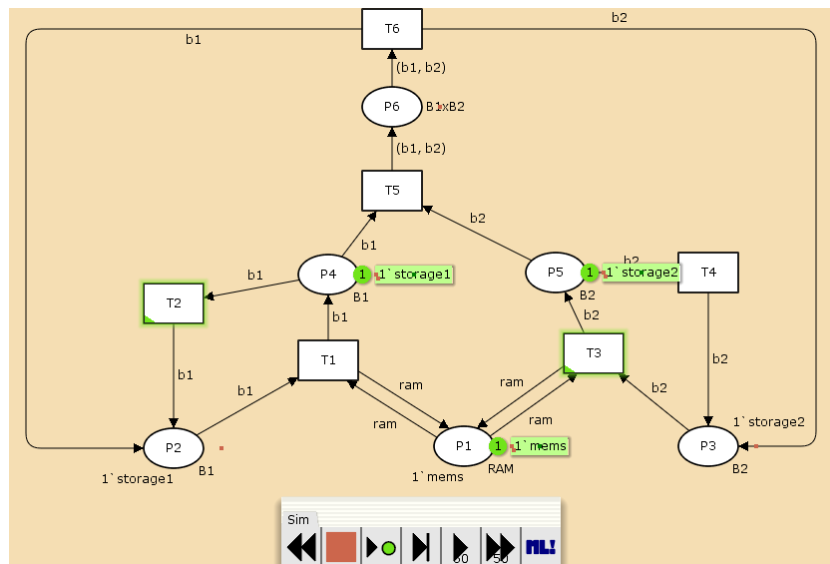


Рис. 2.5: Запуск модели

2.5 Пространство состояний

Изучим пространство состояний. Сформируем граф пространства состояний, их всего 5 (рис. 2.6).

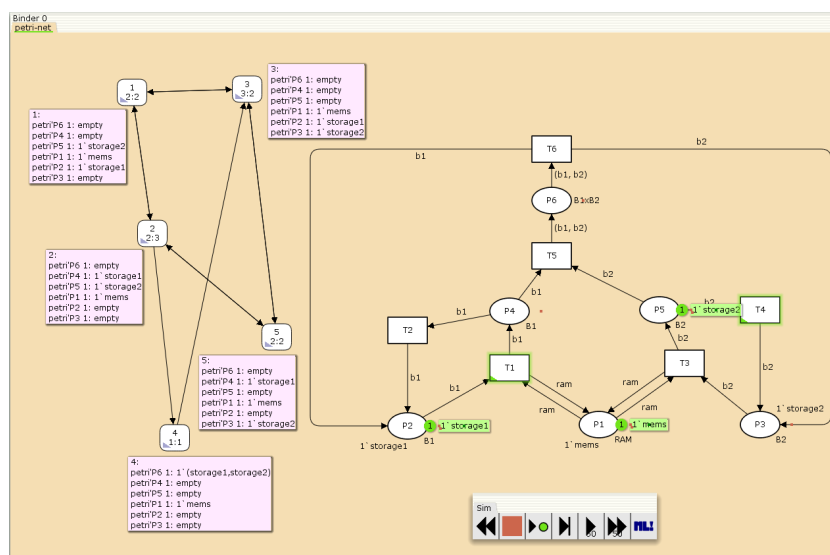


Рис. 2.6: Граф пространства состояний

Вычислим пространство состояний. Прежде, чем пространство состояний может быть вычислено и проанализировано, необходимо сформировать код пространства состояний. Этот код создается, когда используется инструмент Войти в пространство состояний. Вход в пространство состояний занимает некоторое время. Затем, если ожидается, что пространство состояний будет небольшим, можно просто применить инструмент Вычислить пространство состояний к листу, содержащему страницу сети. Сформируем отчёт о пространстве состояний и проанализируем его. Чтобы сохранить отчет, необходимо применить инструмент Сохранить отчет о пространстве состояний к листу, содержащему страницу сети и ввести имя файла отчета.

Из отчета можно увидеть:

- есть 5 состояний и 10 переходов между ними, strongly connected components (SCC) graph содержит 1 вершину и 0 переходов.
- Затем указаны границы значений для каждого элемента: состояние P1 всегда заполнено 1 элементом, а остальные содержат максимум 1 элемент, минимум – 0.
- Также указаны границы в виде мультимножеств.
- Маркировка home для всех состояний, так как в любую позицию мы можем попасть из любой другой маркировки.
- Маркировка dead равная None, так как нет состояний, из которых переходов быть не может.
- В конце указано, что бесконечно часто могут происходить переходы T1, T2, T3, T4, но не обязательно, также состояние T5 необходимо для того, чтобы система не попадала в тупик, а состояние T6 происходит всегда, если доступно.

CPN Tools state space report for:

/home/openmodelica/lab13.cpn

Report generated: Mon Apr 28 02:01:37 2025

Statistics

State Space

Nodes: 5
Arcs: 10
Secs: 0
Status: Full

Scc Graph

Nodes: 1
Arcs: 0
Secs: 0

Boundedness Properties

Best Integer Bounds

	Upper	Lower
petri'P1 1	1	1
petri'P2 1	1	0
petri'P3 1	1	0
petri'P4 1	1	0
petri'P5 1	1	0
petri'P6 1	1	0

Best Upper Multi-set Bounds

petri'P1 1	1`mems
petri'P2 1	1`storage1
petri'P3 1	1`storage2
petri'P4 1	1`storage1
petri'P5 1	1`storage2
petri'P6 1	1`(storage1,storage2)

Best Lower Multi-set Bounds

petri'P1 1	1`mems
petri'P2 1	empty
petri'P3 1	empty
petri'P4 1	empty
petri'P5 1	empty
petri'P6 1	empty

Home Properties

Home Markings

All

Liveness Properties

Dead Markings

None

Dead Transition Instances

None

Live Transition Instances

All

Fairness Properties

petri'T1 1	No Fairness
petri'T2 1	No Fairness
petri'T3 1	No Fairness
petri'T4 1	No Fairness
petri'T5 1	Just
petri'T6 1	Fair

3 Выводы

В результате выполнения данной лабораторной работы я выполнила задание для самостоятельного выполнения, а именно провела анализ сети Петри, построила сеть в CPN Tools, построила граф состояний и провела его анализ.

Список литературы

1. Королькова А.В., Кулябов Д.С. Моделирование информационных процессов: Лабораторная работа №12. РУДН, 2025.
2. Jensen K., Kristensen L.M., Wells L. Coloured Petri Nets and CPN Tools for Modelling and Validation of Concurrent Systems // International Journal on Software Tools for Technology Transfer. 2007. Т. 9. С. 213–254.
3. CPN Tools – A tool for editing, simulating, and analyzing Colored Petri nets [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://cpntools.org> (дата обращения: 28.04.2025).
4. Дворянский Л.В., Ломазова И.А. Имитационное моделирование и верификация вложенных сетей Петри с использованием CPN Tools // Труды НИУ ВШЭ. Издательский дом ВШЭ, 2012. С. 1–15.