

Лабораторная работа №11

Модель системы массового обслуживания $M|M|1$

Ендонова Арюна Валерьевна

Содержание

Введение	4
Выполнение лабораторной работы	5
Мониторинг параметров моделируемой системы	11
Выводы	18
Список литературы	19

Список иллюстраций

1	Граф сети системы обработки заявок в очереди	6
2	Граф генератора заявок системы	6
3	Граф процесса обработки заявок на сервере системы	7
4	Задание деклараций системы	8
5	Параметры элементов основного графа системы обработки заявок в очереди	9
6	Параметры элементов генератора заявок системы	10
7	Параметры элементов обработчика заявок системы	11
8	Функция Predicate монитора Ostanovka	11
9	Функция Observer монитора Queue Delay	12
10	Файл Queue_Delay.log	12
11	График изменения задержки в очереди	13
12	Функция Observer монитора Queue Delay Real	14
13	Содержимое Queue_Delay_Real.log	15
14	Функция Observer монитора Long Delay Time	15
15	Определение longdelaytime в декларациях	16
16	Содержимое Long_Delay_Time.log	16
17	Периоды времени, когда значения задержки в очереди превышали заданное значение	17

Введение

Цель работы

Реализовать модель $M|M|1$ в CPN tools.

Задание

- Реализовать в CPN Tools модель системы массового обслуживания $M|M|1$.
- Настроить мониторинг параметров моделируемой системы и нарисовать графики очереди.

Выполнение лабораторной работы

Постановка задачи

В систему поступает поток заявок двух типов, распределённый по пуассоновскому закону. Заявки поступают в очередь сервера на обработку. Дисциплина очереди - FIFO. Если сервер находится в режиме ожидания (нет заявок на сервере), то заявка поступает на обработку сервером.

Будем использовать три отдельных листа: на первом листе опишем граф системы (рис. [-@fig:001]), на втором — генератор заявок (рис. [-@fig:002]), на третьем — сервер обработки заявок (рис. [-@fig:003]).

Сеть имеет 2 позиции (очередь — Queue, обслуженные заявки — Complited) и два перехода (генерировать заявку — Arrivals, передать заявку на обработку серверу — Server). Переходы имеют сложную иерархическую структуру, задаваемую на отдельных листах модели (с помощью соответствующего инструмента меню — Hierarchy).

Между переходом Arrivals и позицией Queue, а также между позицией Queue и переходом Server установлена дуплексная связь. Между переходом Server и позицией Complited — односторонняя связь.

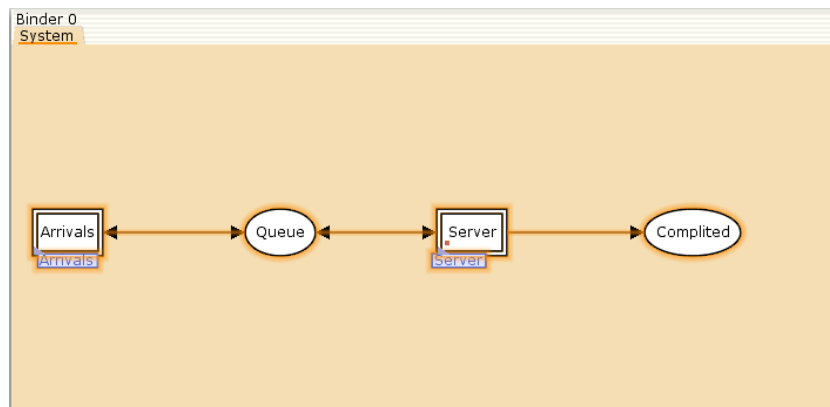


Рис. 1: Граф сети системы обработки заявок в очереди

Граф генератора заявок имеет 3 позиции (текущая заявка — Init, следующая заявка — Next, очередь — Queue из листа System) и 2 перехода (Init — определяет распределение поступления заявок по экспоненциальному закону с интенсивностью 100 заявок в единицу времени, Arrive — определяет поступление заявок в очередь).

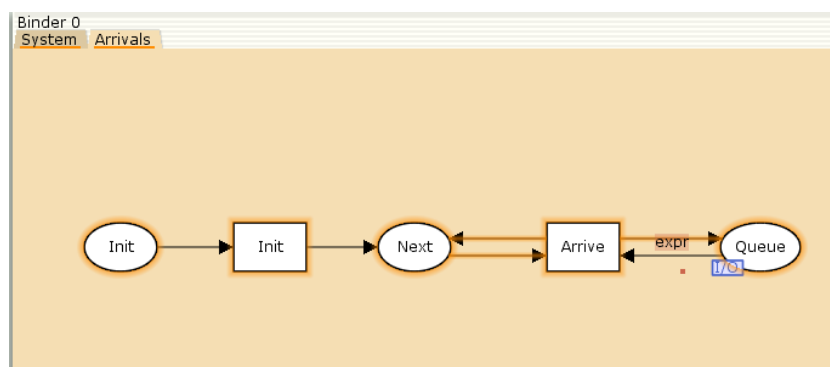


Рис. 2: Граф генератора заявок системы

Граф процесса обработки заявок на сервере имеет 4 позиции (Busy — сервер занят, Idle — сервер в режиме ожидания, Queue и Completed из листа System) и 2 перехода (Start — начать обработку заявки, Stop — закончить обработку заявки).

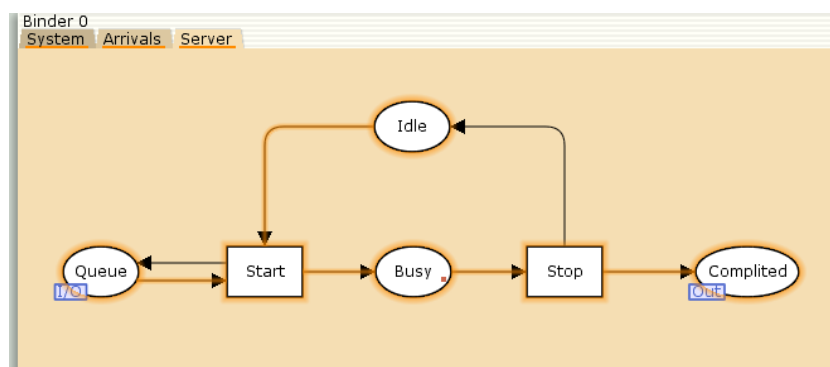


Рис. 3: Граф процесса обработки заявок на сервере системы

Зададим декларации системы (рис. [-@fig:004]).

Определим множества цветов системы (colorset):

- фишки типа UNIT определяют моменты времени;
- фишки типа INT определяют моменты поступления заявок в систему.
- фишки типа JobType определяют 2 типа заявок — A и B;
- кортеж Job имеет 2 поля: jobType определяет тип работы (соответственно имеет тип JobType, поле AT имеет тип INT и используется для хранения времени нахождения заявки в системе);
- фишки Jobs — список заявок;
- фишки типа ServerxJob — определяют состояние сервера, занятого обработкой заявок.

Переменные модели:

- proctime — определяет время обработки заявки;
- job — определяет тип заявки;
- jobs — определяет поступление заявок в очередь.

Определим функции системы:

- функция expTime описывает генерацию целочисленных значений через интервалы времени, распределённые по экспоненциальному закону;

- функция `intTime` преобразует текущее модельное время в целое число;
- функция `newJob` возвращает значение из набора `Job` — случайный выбор типа заявки (А или В).

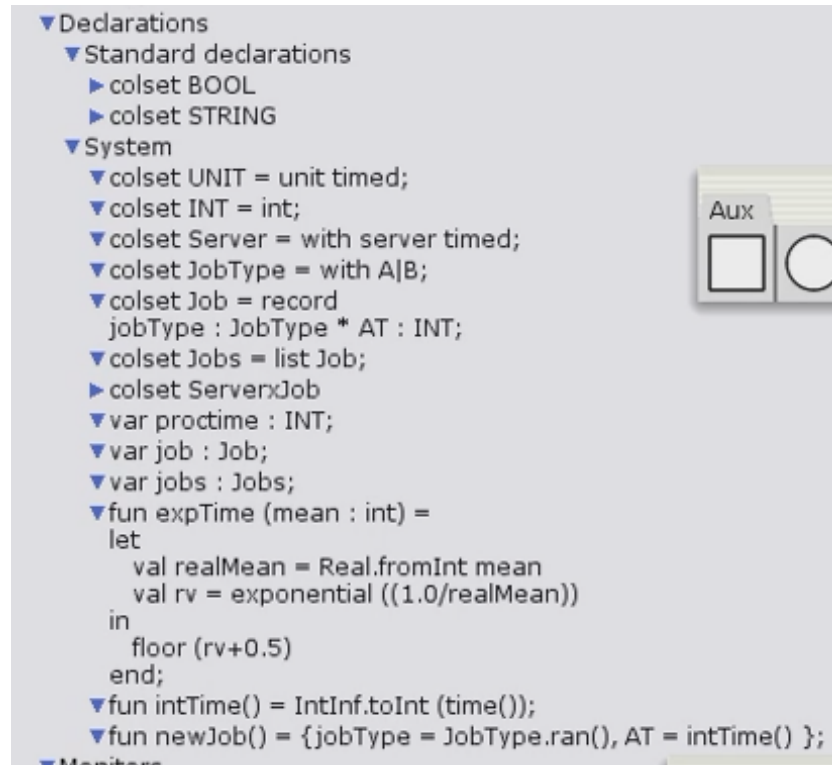


Рис. 4: Задание деклараций системы

Зададим параметры модели на графах сети.

На листе `System` (рис. [-@fig:005]):

- у позиции `Queue` множество цветов фишек — `Jobs`; начальная маркировка `1[]` определяет, что изначально очередь пуста.
- у позиции `Completed` множество цветов фишек — `Job`.

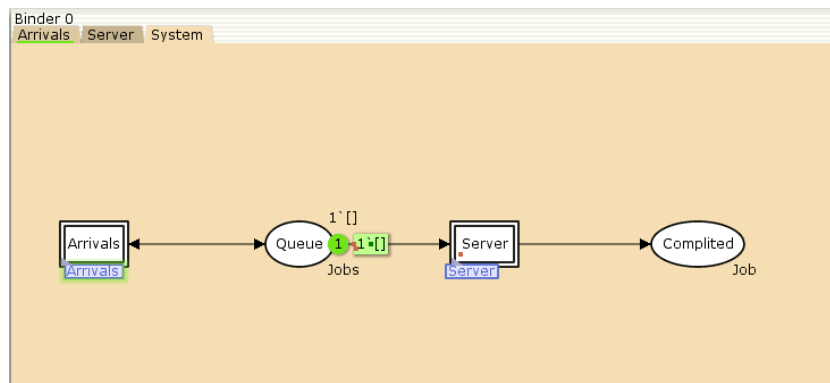


Рис. 5: Параметры элементов основного графа системы обработки заявок в очереди

На листе Arrivals (рис. [-@fig:006]):

- у позиции Init: множество цветов фишек — UNIT; начальная маркировка $1 \cdot () @ 0$ определяет, что поступление заявок в систему начинается с нулевого момента времени;
- у позиции Next: множество цветов фишек — UNIT;
- на дуге от позиции Init к переходу Init выражение $()$ задаёт генерацию заявок;
- на дуге от переходов Init и Arrive к позиции Next выражение $() @ +expTime(100)$ задаёт экспоненциальное распределение времени между поступлениями заявок;
- на дуге от позиции Next к переходу Arrive выражение $()$ задаёт перемещение фишки;
- на дуге от перехода Arrive к позиции Queue выражение $jobs^{[]} [job]$ задает поступление заявки в очередь;
- на дуге от позиции Queue к переходу Arrive выражение $jobs$ задаёт обратную связь.

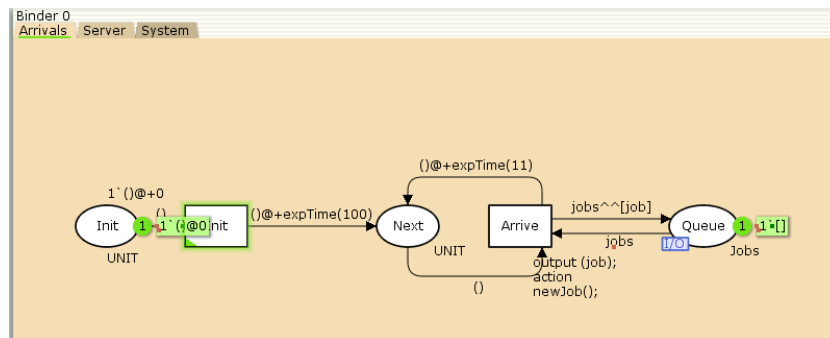


Рис. 6: Параметры элементов генератора заявок системы

На листе Server (рис. [-@fig:007]):

- у позиции Busy: множество цветов фишек — Server, начальное значение мар-кировки — 1`server@0 определяет, что изначально на сервере нет заявок на обслуживание;
- у позиции Idle: множество цветов фишек — ServerxJob;
- переход Start имеет сегмент кода output (proctime); action expTime(90); определяющий, что время обслуживания заявки распределено по экспоненциальному закону со средним временем обработки в 90 единиц времени;
- на дуге от позиции Queue к переходу Start выражение job::jobs определяет, что сервер может начать обработку заявки, если в очереди есть хотя бы одна заявка;
- на дуге от перехода Start к позиции Busy выражение (server,job)@+proctime запускает функцию расчёта времени обработки заявки на сервере;
- на дуге от позиции Busy к переходу Stop выражение (server,job) говорит о завершении обработки заявки на сервере;
- на дуге от перехода Stop к позиции Completed выражение job показывает, что заявка считается обслуженной;
- выражение server на дугах от и к позиции Idle определяет изменение состояние сервера (обрабатывает заявки или ожидает);
- на дуге от перехода Start к позиции Queue выражение jobs задаёт обратную связь.

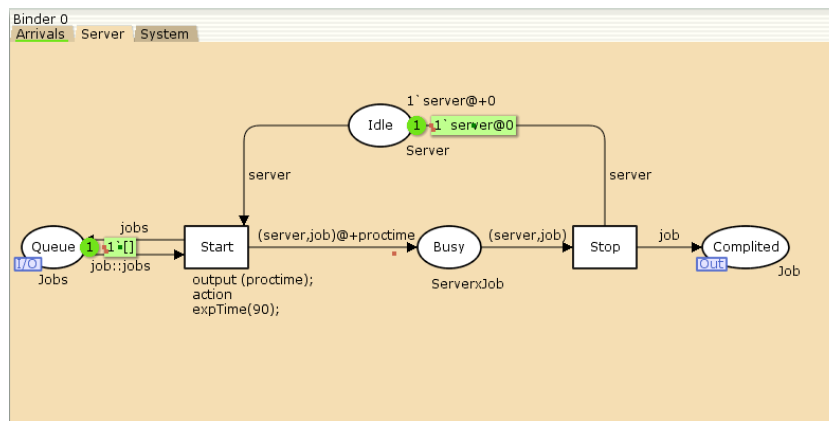


Рис. 7: Параметры элементов обработчика заявок системы

Мониторинг параметров моделируемой системы

Потребуется палитра Monitoring. Выбираем Break Point (точка останова) и устанавливаем её на переход Start. После этого в разделе меню Monitor появится новый подраздел, который назовём Ostanovka. В этом подразделе необходимо внести изменения в функцию Predicate, которая будет выполняться при запуске монитора. Зададим число шагов, через которое будем останавливать мониторинг. Для этого true заменим на `Queue_Delay.count()=200`.

В результате функция примет вид (рис. [-@fig:008]):

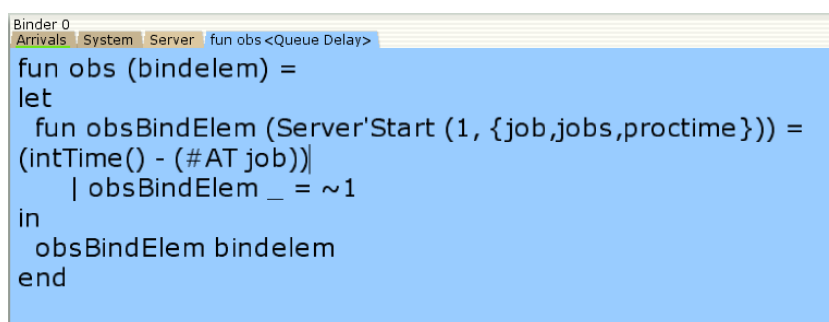
```
Binder 0
Arrivals  System  Server  fun pred<Ostanovka>
fun pred (bindelem) =
  let
    fun predBindElem (Server'Start (1,
      {job,jobs,proctime})) = Queue_Delay.count()=200
      | predBindElem _ = false
  in
    predBindElem bindelem
  end
```

Рис. 8: Функция Predicate монитора Ostanovka

Необходимо определить конструкцию `Queue_Delay.count()`. С помощью палитры

Monitoring выбираем Data Call и устанавливаем на переходе Start. Появившийся в меню монитор называем Queue Delay (без подчеркивания). Функция Observer выполняется тогда, когда функция предикатора выдаёт значение true. По умолчанию функция выдаёт 0 или унарный минус (~1), подчёркивание обозначает произвольный аргумент. Изменим её так, чтобы получить значение задержки в очереди. Для этого необходимо из текущего времени `intTime()` вычесть временную метку AT, означающую приход заявки в очередь.

В результате функция примет вид (рис. [-@fig:009]):

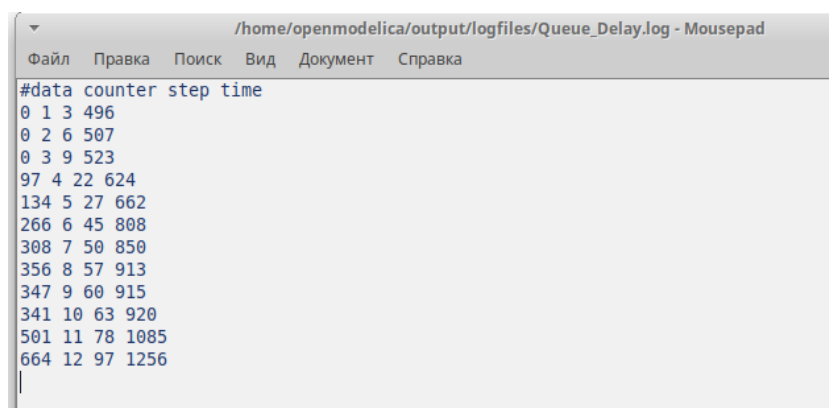


```

Binder 0
Arrivals | System | Server | fun obs <Queue Delay>
fun obs (bindelem) =
let
  fun obsBindElem (Server'Start (1, {job,jobs,proctime})) =
    (intTime() - (#AT job))
    | obsBindElem _ = ~1
in
  obsBindElem bindelem
end
  
```

Рис. 9: Функция Observer монитора Queue Delay

После запуска программы на выполнение в каталоге с кодом программы появится файл `Queue_Delay.log` (рис. [-@fig:010]), содержащий в первой колонке — значение задержки очереди, во второй — счётчик, в третьей — шаг, в четвёртой — время.



```

/home/openmodelica/output/logfiles/Queue_Delay.log - Mousepad
Файл  Правка  Поиск  Вид  Документ  Справка
#data counter step time
0 1 3 496
0 2 6 507
0 3 9 523
97 4 22 624
134 5 27 662
266 6 45 808
308 7 50 850
356 8 57 913
347 9 60 915
341 10 63 920
501 11 78 1085
664 12 97 1256
|
  
```

Рис. 10: Файл Queue_Delay.log

С помощью `gnuplot` можно построить график значений задержки в очереди (рис. [-@fig:011]), выбрав по оси `x` время, а по оси `y` — значения задержки:

```
#!/usr/bin/gnuplot -persist
# задаём текстовую кодировку,
# тип терминала, тип и размер шрифта

set encoding utf8
set term pngcairo font "Helvetica,9"

# задаём выходной файл графика
set out 'window_1.png'
plot "Queue_Delay.log" using ($4):($1) with lines
```

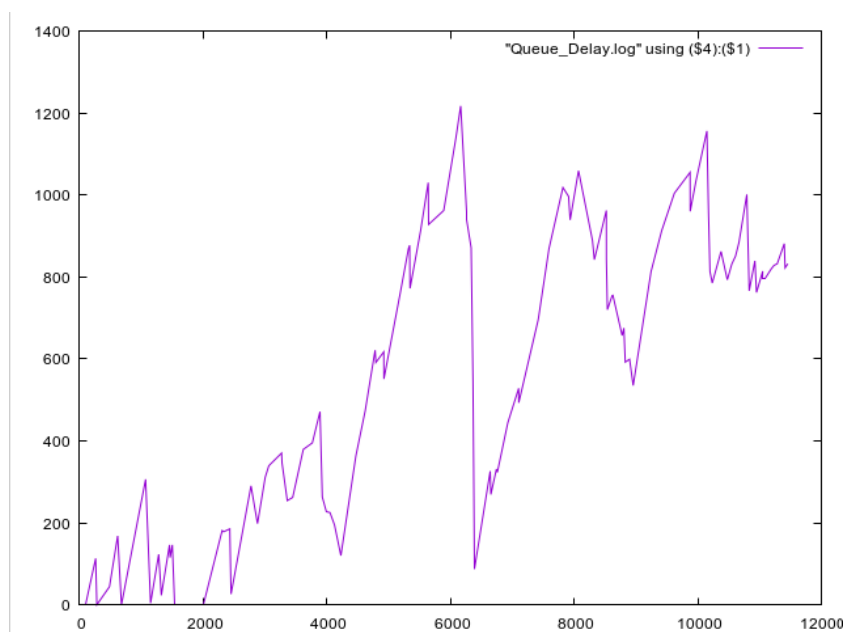
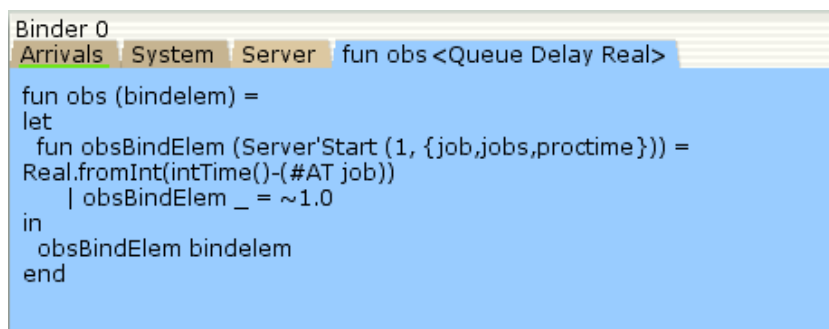


Рис. 11: График изменения задержки в очереди

Посчитаем задержку в действительных значениях. С помощью палитры `Monitoring` выбираем `Data Call` и устанавливаем на переходе `Start`. Появившийся в меню монитор

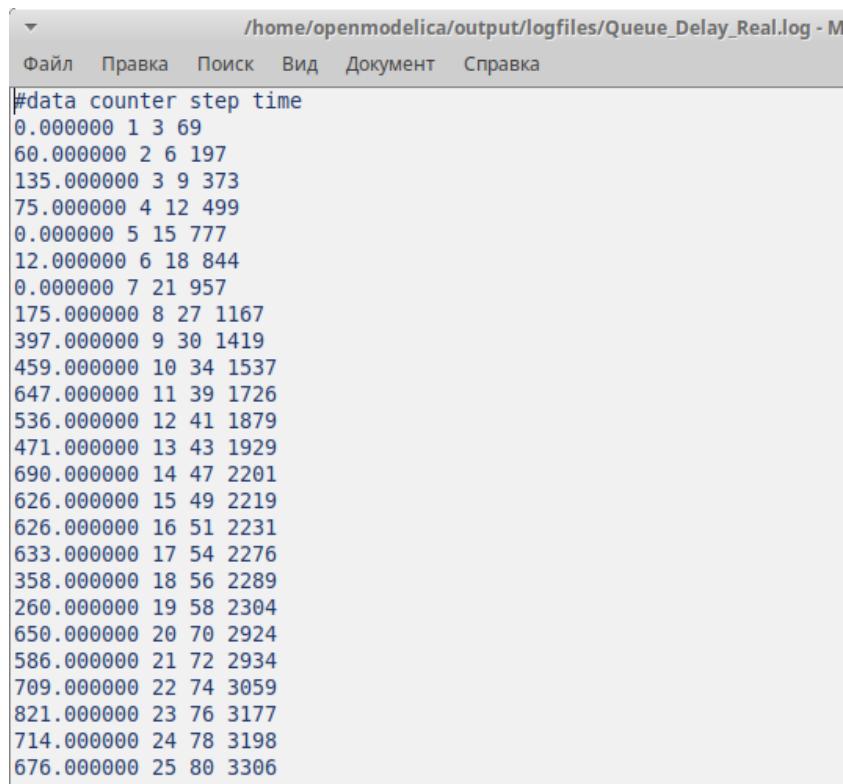
называем Queue Delay Real. Функцию Observer изменим следующим образом(рис. [-@fig:012]):



```
Binder 0
Arrivals System Server fun obs <Queue Delay Real>
fun obs (bindelem) =
let
  fun obsBindElem (Server'Start (1, {job,jobs,proctime})) =
    Real.fromInt(intTime()-(#AT job))
    | obsBindElem _ = ~1.0
in
  obsBindElem bindelem
end
```

Рис. 12: Функция Observer монитора Queue Delay Real

По сравнению с предыдущим описанием функции добавлено преобразование значения функции из целого в действительное, при этом `obsBindElem _` принимает значение `~1.0`. После запуска программы на выполнение в каталоге с кодом программы появится файл `Queue_Delay_Real.log` с содержимым, аналогичным содержимому файла `Queue_Delay.log`, но значения задержки имеют действительный тип (рис. [-@fig:013]):



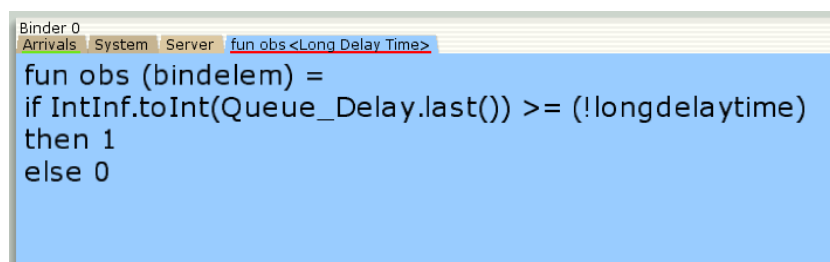
```

/home/openmodelica/output/logfiles/Queue_Delay_Real.log - M
Файл  Правка  Поиск  Вид  Документ  Справка
#data counter step time
0.000000 1 3 69
60.000000 2 6 197
135.000000 3 9 373
75.000000 4 12 499
0.000000 5 15 777
12.000000 6 18 844
0.000000 7 21 957
175.000000 8 27 1167
397.000000 9 30 1419
459.000000 10 34 1537
647.000000 11 39 1726
536.000000 12 41 1879
471.000000 13 43 1929
690.000000 14 47 2201
626.000000 15 49 2219
626.000000 16 51 2231
633.000000 17 54 2276
358.000000 18 56 2289
260.000000 19 58 2304
650.000000 20 70 2924
586.000000 21 72 2934
709.000000 22 74 3059
821.000000 23 76 3177
714.000000 24 78 3198
676.000000 25 80 3306

```

Рис. 13: Содержимое Queue_Delay_Real.log

Посчитаем, сколько раз задержка превысила заданное значение. С помощью палитры Monitoring выбираем Data Call и устанавливаем на переходе Start. Монитор называем Long Delay Time. Функцию Observer изменим следующим образом (рис. [-@fig:014]):



```

Binder 0
Arrivals System Server fun obs <Long Delay Time>
fun obs (bindelem) =
if IntInf.toInt(Queue_Delay.last()) >= (!longdelaytime)
then 1
else 0

```

Рис. 14: Функция Observer монитора Long Delay Time

При этом необходимо в декларациях задать глобальную переменную (в форме ссылки на число 200): longdelaytime (рис. [-@fig:015]).

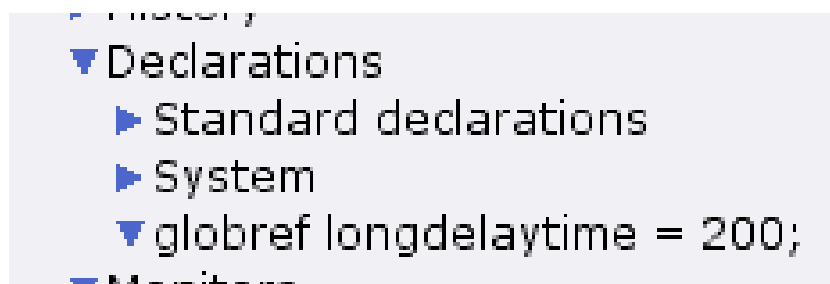


Рис. 15: Определение longdelaytime в декларациях

После запуска программы на выполнение в каталоге с кодом программы появится файл Long_Delay_Time.log (рис. [-@fig:016])

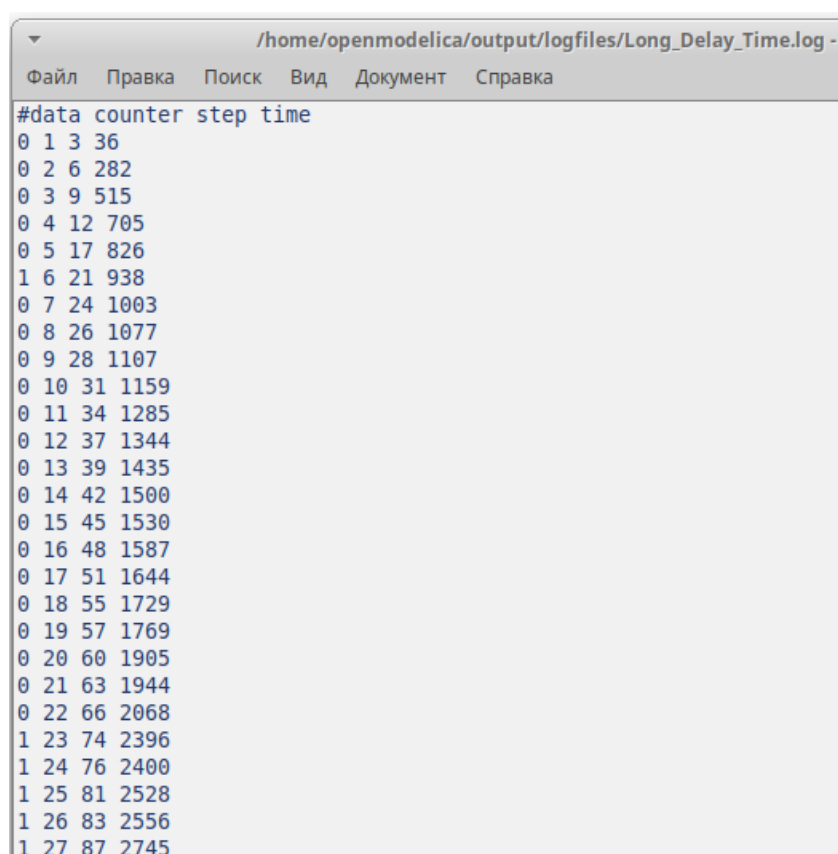


Рис. 16: Содержимое Long_Delay_Time.log

С помощью gnuplot можно построить график (рис. [-@fig:017]), демонстрирующий, в какие периоды времени значения задержки в очереди превышали заданное значение

200.

```
#!/usr/bin/gnuplot -persist
```

```
# задаём текстовую кодировку,
```

```
# тип терминала, тип и размер шрифта
```

```
set encoding utf8
```

```
set term pngcairo font "Helvetica,9"
```

```
# задаём выходной файл графика
```

```
set out 'window_1.png'
```

```
set style line 2
```

```
plot [0:] [0:1.2] "Long_Delay_Time.log" using ($4):($1) with lines
```

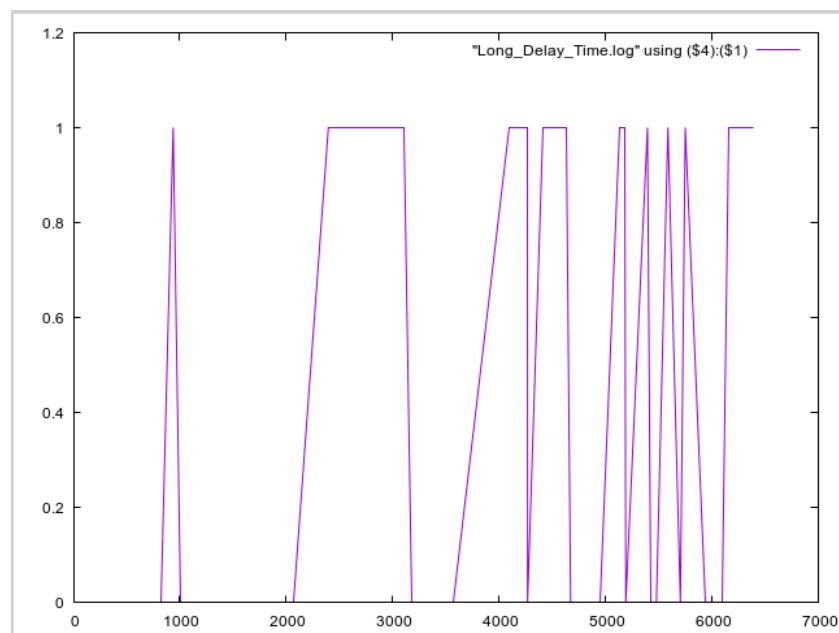


Рис. 17: Периоды времени, когда значения задержки в очереди превышали заданное значение

Выводы

В процессе выполнения данной лабораторной работы я реализовала модель системы массового обслуживания $M|M|1$ в CPN Tools.

Список литературы

1. Королькова А.В., Кулябов Д.С. Руководство к лабораторной работе №11. Модель системы массового обслуживания $M|M|1$. – Москва, 2025. – 107 с.
2. Система массового обслуживания $M/M/1$ // Exponenta. URL: <https://docs.exponenta.ru/simevents/ugm-1-queueing-system.html> (дата обращения: 04.04.2025).
3. Постников В.М., Спиридонов С.Б., Терехов В.И. Аналитические модели автоматизированных систем обработки информации и управления: курс лекций // Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана. URL: https://e-learning.bmstu.ru/iu5/pluginfile.php/12304/mod_resource/content/1/Лекции_часть_1_23.pdf.
4. Латипова А.Т., Шпигель Е.Л. Специализированные стационарные СМО и их функциональные характеристики // Южно-Уральский государственный университет.
5. Стандартная модель // Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Стандартная_модель (дата обращения: 04.04.2025).