

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт компьютерных наук и кибербезопасности
Высшая школа программной инженерии

Курсовой проект

**Моделирование системы, формализованной как
система массового обслуживания**

по дисциплине «Архитектура программных систем»

Выполнил:

Студент группы 5130904/10103

Шульгин И.К.

Руководитель:

Смирнов Н.Г.

Санкт-Петербург
2023

Оглавление

Исходные данные	3
Формализованная схема ВС	4
Временная диаграмма	5
Устройство системы	6
Отображение динамики функционирования модели в пошаговом режиме.....	8
Отображение результатов работы программной модели в автоматическом режиме	8
Пример технической системы.....	9

Исходные данные

Вариант:

ИБ ИЗ2 ПЗ1 Д1032 Д1004 Д2П2 Д2Б4 ОР1 ОД1

Источники:

ИБ - бесконечный

ИЗ2 - равномерный

Приборы:

ПЗ1 - экспоненциальный закон распределения времени обслуживания

Дисциплина буферизации:

Д1032 - в порядке поступления

Дисциплина отказа:

Д1004 - последняя поступившая в буфер

Дисциплины постановки на обслуживание:

Д2Б4 - выбор заявки из буфера, приоритет по номеру источника,
по одной заявке

Д2П2 - выбор прибора по кольцу

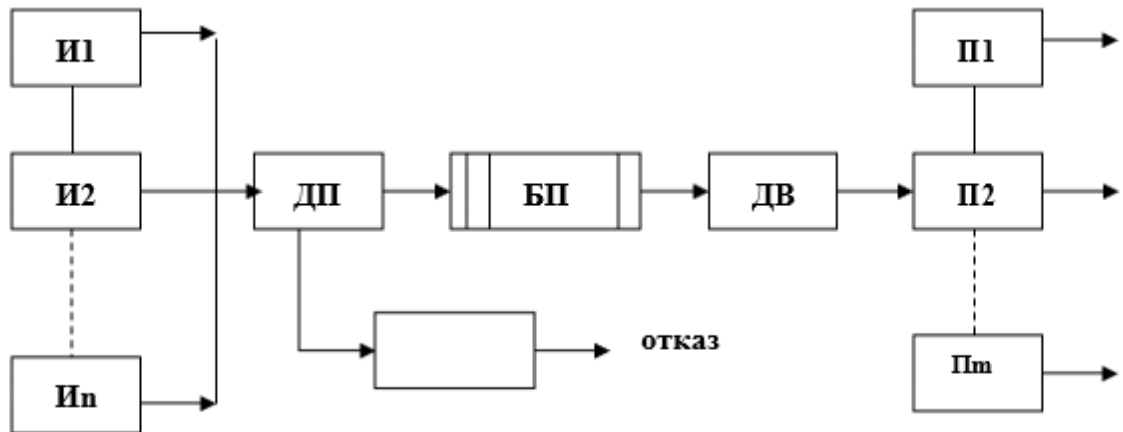
Динамическое отображение результатов (пошаговый режим):

ОД1 - календарь событий, буфер и текущее состояние

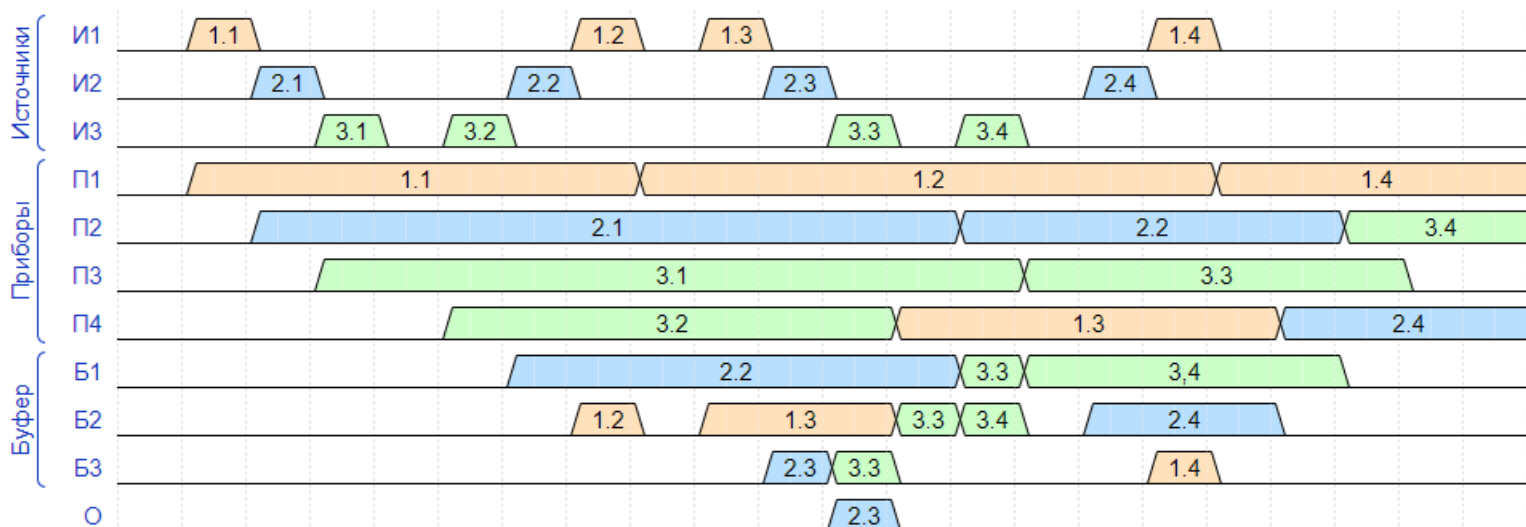
Отображение результатов после сбора статистики (автоматический режим):

ОР1 - сводная таблица результатов

Формализованная схема ВС



Временная диаграмма



Устройство системы

Программа, позволяющая имитировать и исследовать поведение системы, написана на языке C++ с использованием графической библиотеки Dear ImGui, а также технологий GLFW и OpenGL. В программе использованы следующие классы:

- **QueueingSystem** – класс, отвечающий за работу системы в целом
- **Source** – класс источников
- **Buffer** – класс буфера памяти
- **Device** – класс приборов
- **Request** – класс заявок
- **Statistics** – класс, отвечающий за календарь событий и статистику, необходимую для пошаговых и итоговых результатов

Программа обрабатывает особые события (генерация заявки или окончание работы прибора), отслеживая календарь событий. Для итоговых результатов в процессе работы системы фиксируются следующие статистические данные по каждому источнику и прибору:

Для источника:

- Количество сгенерированных заявок
- Количество отказов
- Время, проведённое каждой заявкой в буфере
- Время обслуживания каждой заявки

Для прибора:

- Количество обработанных заявок
- Общее время использования

В процессе работы программной модели при прохождении по ВС каждой заявки происходит сбор статистической информации для расчёта следующих характеристик системы:

- Количество заявок, сгенерированных каждым источником
- Вероятность отказа в обслуживании заявок каждого источника

$$p = \frac{m}{n},$$

где n — общее количество заявок, сгенерированных источником;

m — количество заявок этого источника, получивших отказ.

- Среднее время пребывания заявки каждого источника в системе.

$$T_{\text{преб}} = T_{\text{обсл}} + T_{\text{БП}},$$

где $T_{\text{преб}}$ — среднее время пребывания заявки в системе (время ответа на запрос); $T_{\text{обсл}}$ — среднее время обслуживания заявки данного источника; $T_{\text{БП}}$ — среднее время пребывания заявки в БП или. среднее время ожидания заявки каждого источника.

- Дисперсии $T_{\text{обсл}}$ и $T_{\text{БП}}$;
- Коэффициенты использования приборов (суммарное время занятости каждого прибора/общее время реализации).

После завершения процесса моделирования должны быть получены две таблицы результатов:

Отображение динамики функционирования модели в пошаговом режиме

▼ Пошаговая статистика										
— Источники					— Приборы					
#	Время	Заявки	Отказы		#	Время	Заявки	Состояние		
И0	79.556	10	0		П0	90.174	6	занят		
И1	82.996	7	0		П1	91.527	5	занят		
И2	87.808	7	0		П2	80.056	10	занят		
И3	80.351	8	0		П3	92.701	12	занят		
И4	91.573	8	0		П4	94.667	9	занят		
И5	82.144	8	0		П5	84.564	10	занят		
И6	84.496	9	0							
И7	94.407	7	0							
— Буфер										
Позиция	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Время	53.342	66.153	75.910	76.082	77.469	78.799	-	-	-	-
Заявка	(7, 4)	(7, 5)	(4, 7)	(6, 7)	(6, 8)	(7, 6)	-	-	-	-

Отображение результатов работы программной модели в автоматическом режиме

▼ Результаты												
— Характеристики источников ВС								— Характеристики приборов ВС				
#	Заявки	Р отк	Т преб	Т БП	Т обсл	Д БП	Д обсл	#	Заявки	Т обсл	Козф...	
И0	1251	0.254	12.010	1.400	10.610	2.422	121.493	П0	1246	10.032	0.994	
И1	1256	0.256	11.803	1.875	9.927	4.689	110.083	П1	1275	9.836	0.997	
И2	1249	0.254	12.069	2.418	9.651	9.544	95.575	П2	1218	10.267	0.995	
И3	1241	0.252	13.160	3.324	9.836	17.104	92.026	П3	1245	10.041	0.994	
И4	1235	0.234	15.594	4.992	10.602	36.908	111.628	П4	1211	10.322	0.994	
И5	1250	0.258	17.198	7.097	10.101	61.052	97.247	П5	1284	9.749	0.996	
И6	1273	0.257	23.046	13.465	9.581	182.294	85.028					
И7	1245	0.252	76.817	66.833	9.984	1154.122	86.704					
Вероятность отказа заявкам в обслуживании: 0.252												
Необходимое количество заявок: 800.840106												

Пример технической системы

Реальная система: Агрегатор такси.

Источник: Группа заказов на транспортную услугу с одинаковым приоритетом. Равномерное распределение времени между появлением новых заказов в каждой группе определяется одинаковым интервалом: от 0 до 5, где 5 – максимальное время между появлением заказов одинакового приоритета.

Прибор: Такси. Экспоненциальное распределение времени обслуживания заказа определяется показателем $\lambda = 0.05$.

Буфер: Очередь, в которой клиенты ожидают назначения перевозчика.

Заявка: Заказ на услугу такси.

Принцип работы системы:

Пользователь заказывает такси через сервис агрегатора такси. Заказ получает приоритет, на который влияют различные факторы, например дальность поездки, место назначения поездки, стоимость поездки, количество машин по близости, тариф заказа, история заказов пользователя и др. Заказ с приоритетом попадает в систему.

Если на данный момент все водители заняты, заказ становится в очередь. Когда водитель освобождается, ему назначается самый старый заказ с наибольшим приоритетом. Если очередь заполнена, то при поступлении нового заказа он занимает место самого нового заказа в очереди.

В имитационной системе формально не учитывается местоположение водителя при назначении ему заказа, это обуславливается тем, что агрегатор такси действует на небольшой территории (например, в небольшом городе), и длительность подъезда такси включена во время обслуживания заказа, которое вычисляется самим агрегатором.

Ограничения:

Вероятность отказа (отмены заказа) не более 5%.

Коэффициент использования такси более 95%.

Количество приоритетов не более 100.

Размер очереди не более 500 заказов.

Среднее время ожидания для групп приоритетов заказов (все приоритеты делятся на 5 равных групп)	
Группа приоритетов	Ограничение
1-я (наиболее приоритетные)	Не более 0.5 минуты
2-я (более приоритетные)	Не более 1 минуты
3-я (средне приоритетные)	Не более 3 минут
4-я (менее приоритетные)	Не более 10 минут
5-я (наименее приоритетные)	В течение дня

Внутренние параметры системы:

Минимальное время поездки (с учётом ожидания назначенного водителя): 5 минут.

Определение количества реализаций

Существует количественная связь между количеством реализаций (количество заявок, проходящих через ВС), относительной точностью, достоверной вероятностью и случайной величиной $p(A)$ — вероятностью некоторого события A . Эта связь выражается формулой

$$N = \frac{t_{\alpha}^2 (1 - p)}{p \delta^2},$$

Где p — вероятность отказа заявок в обслуживании; $t_{\alpha} = 1,643$ для $\alpha = 0,9$; $\delta = 0,1$ — относительная точность.

В результате исследования я определил оптимальное количество заявок, и оно составило приблизительно от 10000 до 15000 заявок.

Выбор оптимальной конфигурации

Для исследования СМО на предмет поиска оптимальной конфигурации я варьировал следующие три параметра:

- Количество мест в буфере – от 10 до 500 мест с шагом в 10
- Количество приборов – от 10 до 500 приборов с шагом в 10
- Лямбда экспоненциального распределения времени обслуживания приборов – от 0.021 до 0.07 с шагом в 0.001, что приблизительно соответствует среднему времени обработки заявки прибором от 50 до 14 минут.

Количество источников, а также интервал распределения времени генерации заявки я зафиксировал, чтобы эти характеристики соответствовали реальной технической системе. При этом существует возможность изменения этих характеристик с сохранением входного потока, например, при 5 источниках и интервале от 0 до 2.5 минут, 10 источниках и интервале от 0 до 5 минут, 15 источниках и интервале от 0 до 7.5 минут. Во всех этих случаях результаты как табличные, так и графические совпадут.

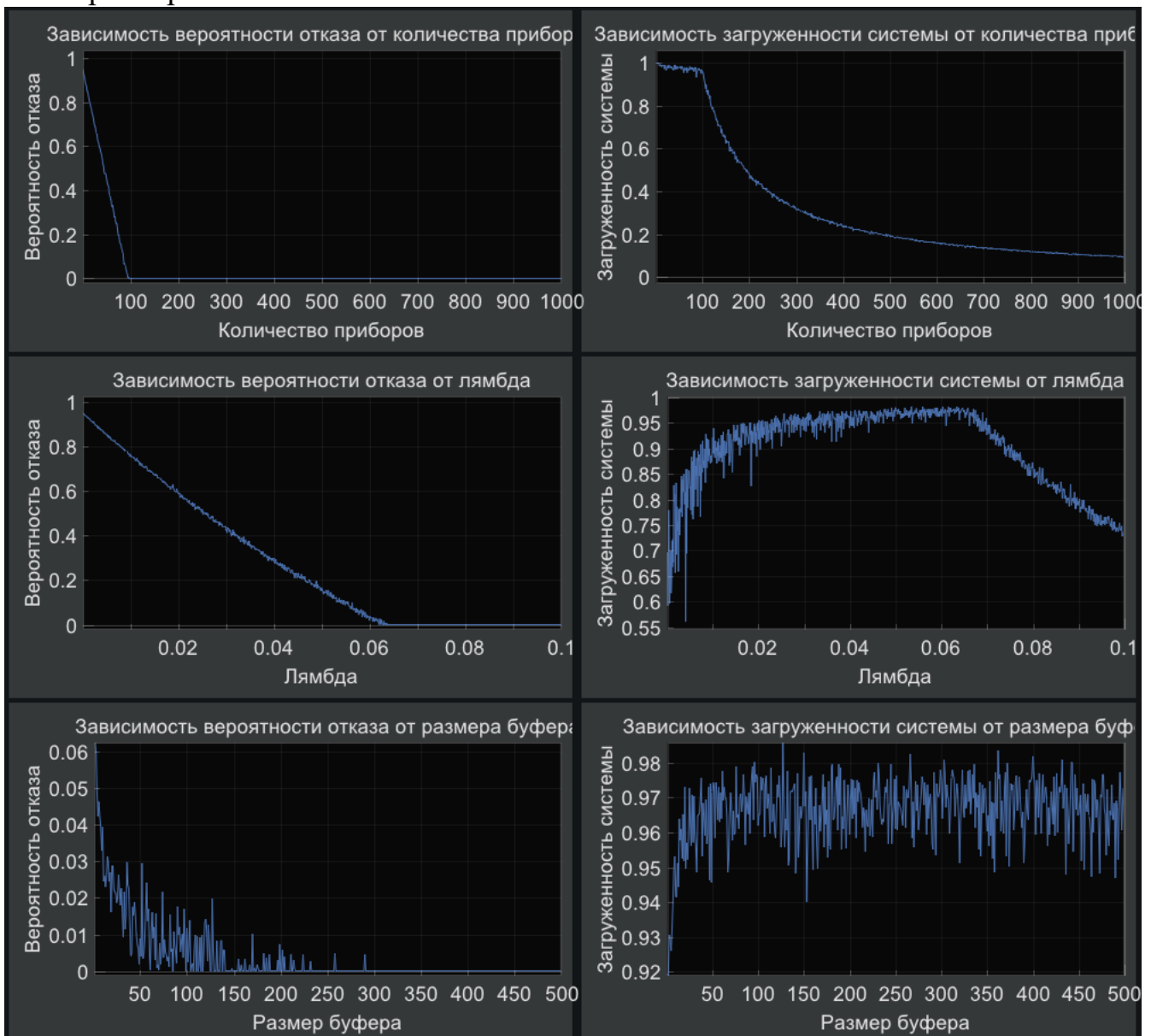
Из 125000 возможных комбинаций я отбирал только те конфигурации, которые удовлетворяют ограничениям, и сортировал их по убыванию загруженности системы, количества приборов и размера буфера.

— Исследование при 10 источниках —							
#	nSources	[a, b]	BufSize	nDevices	lambda	P_rej	Workload
1	10	[0.0, 5.000]	420	80	0.066	0.000	0.983
2	10	[0.0, 5.000]	90	80	0.065	0.015	0.983
3	10	[0.0, 5.000]	480	80	0.061	0.026	0.983
4	10	[0.0, 5.000]	420	80	0.062	0.001	0.982
5	10	[0.0, 5.000]	460	80	0.060	0.043	0.982
6	10	[0.0, 5.000]	350	90	0.053	0.020	0.982
7	10	[0.0, 5.000]	460	80	0.062	0.000	0.981
8	10	[0.0, 5.000]	480	80	0.066	0.000	0.981
9	10	[0.0, 5.000]	190	80	0.063	0.029	0.981
10	10	[0.0, 5.000]	410	80	0.060	0.024	0.981

Далее я варьировал отдельно каждый из параметров, зафиксировав остальные два значениями из наилучшей конфигурации, и получил графики зависимостей вероятности отказа и загруженности системы от параметров.

По полученным графикам можно судить о линейной зависимости вероятности отказа от количества источников и лямбда, при этом размер буфера влияет незначительно и только при малом количестве мест в нём. На графике зависимости загруженности системы от количества источников видно, что система остаётся сильно загруженной, пока вероятность отказа не

близка к нулю, в этот момент наблюдается перегиб, после которого все поступившие в систему заявки обрабатываются, и наблюдается кривая, близкая к экспоненциальной. На графике зависимости загрузки системы от лямбда виден сильный разброс значений при малых лямбда, что обусловлено огромным временем обработки и его разбросом. Затем также наблюдается точка перегиба и спад, когда вероятность отказа равна 0. Последний график зависимости загрузки системы от размера буфера показывает разброс значений и сохранение загрузки на уровне больше 95 процентов, что говорит о совсем незначительном влиянии варьируемого параметра.



Рекомендации по выбору оптимальной конфигурации: стоит взять большой буфер (более 200 – 300 мест), количество приборов около 80 – 90 единиц, лямбда примерно от 0.05 до 0.66, что соответствует реальному времени обработки заказа (с учётом минимального времени ожидания в 5 минут) около 20 – 25 минут.