

Санкт-Петербургский государственный университет
Прикладная математика и информатика
Вычислительная стохастика и статистические модели

Гориславский Ростислав Станиславович

ПЕРЕБОР ГРАФОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ

Бакалаврская работа

Научный руководитель:
д. ф.-м. н., профессор Ю. А. Сушков

Рецензент:
к. ф.-м. н., доцент Ю. Н. Каштанов

Санкт-Петербург

2016

Saint Petersburg State University
Applied Mathematics and Computer Science
Computational Stochastics and Statistical Models

Gorislavskii Rostislav Stanislavovich

ENUMERATION OF GRAPHS OF SYSTEM FUNCTIONALITY

Bachelor's Thesis

Scientific Supervisor:

Associate Professor U. A. Sushkov

Reviewer:

Associate Professor U. N. Kashtanov

Saint Petersburg

2016

Оглавление

Введение	4
Глава 1. Перебор схем функционирования систем	5
1.1. Обозначения	5
1.2. Требования, выдвигаемые для схем	6
1.3. Классификация схем	7
Глава 2. Анализ схемы	10
2.1. Графы перехода состояний систем	10
2.2. Численные характеристики системы	11
Глава 3. Автоматизация процесса моделирования систем	14
3.1. Построение графа перехода состояний в режиме диалога	14
3.2. Моделирование систем	15
Глава 4. Программа	18
Заключение	21
Список литературы	22

Введение

В наше время человечество стремится во всех управленческих решениях достичь наибольшей выгоды. Лицам, принимающим такие решения, необходимо учитывать множество факторов, влияющих на поведение систем массового обслуживания, которыми они управляют. Поэтому становится все более актуальной разработка математических моделей различного типа для анализа современных проблем.

Под системой в данной работе будет подразумеваться именно система массового обслуживания (магазин, цех, СТО, банк). В систему с некоторой интенсивностью поступают заявки. Узлом системы будет называться такой ее элемент, который способен выполнять некоторые операции над поступающими на него заявками (например, мастер у станка, операционист в банке, кассир и т.д.).

В данной работе рассматривается общий класс систем S , состоящих из двух узлов: A и B , которые обрабатывают поступающие в систему с интенсивностью λ заявки. На каждом из узлов могут выполняться 2 операции Ω_1 , Ω_2 , за среднее время τ_1 и τ_2 соответственно, также операция Ω_{12} , которая является последовательным выполнением операций Ω_1 и Ω_2 за время $\tau_{12} \leq \tau_1 + \tau_2$. Операция Ω_1 приоритетней операции Ω_2 , что означает, что Ω_1 должна выполняться раньше Ω_2 .

Для оценки качества работы системы могут рассматриваться такие количественные характеристики, как среднее количество обработанных заявок, среднее относительное время, которое система проводит в том или ином состоянии.

Глава 1

Перебор схем функционирования систем

1.1. Обозначения

Для описания схем функционирования систем введем следующие обозначения. Для каждой операции $i = 1, 2$ и $j = A, B$:

- Ω_i^j означает, что операция Ω_i является *основной* именно на узле j , таким образом, при наличии свободного узла j операция Ω_i будет выполняться на нем, а узел, на котором Ω_i является основной, обозначим через M_i ;
- (Ω_i^j) означает, что операция Ω_i является *условной* на узле j , т.е. выполняется на нем только, если узел M_i занят;
- (Ω_i^j, Θ) означает, что операция Ω_i является *условной* на узле j и выполняется следующим образом: если узел M_i занят, то заявка ждет время Θ . Если за это время узел M_i освободился, Ω_i выполняется на нем, иначе Ω_i выполняется на узле j ;
- (Ω_i^j, ∞) означает, что операция Ω_i является *условной* на узле j и выполняется следующим образом: если узел M_i занят, то заявка поступает на узел j и ждет до тех пор, пока узел M_i не освободится;
- $\overline{\Omega_i^j}$ означает, что операция Ω_i не выполняется на узле j .

Таким образом, было выделено 5 видов операций помимо операции Ω_{12} , и как видно из общего вида схем (таблица 1.1), всего возможно 900 вариантов схем функционирования систем.

Таблица 1.1: Общий вид схем функционирования систем

	Узел A	Узел B
Операция 1	$\Omega_1 (\Omega_1) (\Omega_1, \Theta) (\Omega_1, \infty) \overline{\Omega_1} \Omega_{12}$	$\Omega_1 (\Omega_1) (\Omega_1, \Theta) (\Omega_1, \infty) \overline{\Omega_1} \Omega_{12}$
Операция 2	$\Omega_2 (\Omega_2) (\Omega_2, \Theta) (\Omega_2, \infty) \overline{\Omega_2}$	$\Omega_2 (\Omega_2) (\Omega_2, \Theta) (\Omega_2, \infty) \overline{\Omega_2}$

1.2. Требования, выдвигаемые для схем

Для описания всех схем функционирования систем, рассматриваемых в данной работе, выдвинем несколько правил, по которым могут строиться эти самые схемы.

Изначально заметим, что будем перебирать только неизоморфные схемы. В силу этого замечания сразу выдвигается требование, что операция Ω_1 выполняется первой на узле A .

Заметим, что ровно одна операция из Ω_i^A и Ω_i^B должна быть основной. Этим правилом мы отсеиваем конструкции, которые представлены в таблицах 1.2 – 1.5, и изоморфные им.

Таблица 1.2: Конструкция 1 вида

	Узел A	Узел B
Операция 1	Ω_1	$\Omega_1 (\Omega_1) (\Omega_1, \Theta) (\Omega_1, \infty) \bar{\Omega}_1$
Операция 2	Ω_2	Ω_2

Таблица 1.3: Конструкция 2 вида

	Узел A	Узел B
Операция 1	Ω_1	$\Omega_1 (\Omega_1) (\Omega_1, \Theta) (\Omega_1, \infty) \bar{\Omega}_1$
Операция 2	$(\Omega_2) (\Omega_2, \Theta) (\Omega_2, \infty)$	$(\Omega_2) (\Omega_2, \Theta) (\Omega_2, \infty)$

Таблица 1.4: Конструкция 3 вида

	Узел A	Узел B
Операция 1	Ω_1	$\Omega_1 (\Omega_1) (\Omega_1, \Theta) (\Omega_1, \infty) \bar{\Omega}_1$
Операция 2	$\bar{\Omega}_2$	$\bar{\Omega}_2$

Конструкции вида 1 и 2 не устраивают нас, потому что возникает неопределенность в выборе узла, на котором выполнять Ω_2 . Конструкции 3 вида не являются схемами работы систем, т.к. Ω_2 не выполняется ни на одном узле системы. А в конструкции 4 вида узел

Таблица 1.5: Конструкция 4 вида

	Узел A	Узел B
Операция 1	Ω_1	$\bar{\Omega}_1$
Операция 2	$\Omega_2 (\Omega_2) (\Omega_2, \Theta) (\Omega_2, \infty)$	$\bar{\Omega}_2$

B вообще не принимает участия в работе системы, т.е. система состоит из 1 узла, что противоречит изначально поставленной задаче.

1.3. Классификация схем

В ходе анализа поставленной задачи было выявлено 4 не пересекающихся класса допустимых схем функционирования систем, которые будут представлены ниже.

1.3.1. Схемы I класса

Под этот класс попадают схемы, описанные в таблице 1.6.

Таблица 1.6: Схемы I класса

	Узел A	Узел B
Операция 1	Ω_1	$(\Omega_1) (\Omega_1, \Theta) (\Omega_1, \infty) \bar{\Omega}_1$
Операция 2	Ω_2	$(\Omega_2) (\Omega_2, \Theta) (\Omega_2, \infty) \bar{\Omega}_2$

В конечном счете было выявлено 8 схем, полученных пересечением данного класса с множеством схем, ограниченных выдвинутыми в предыдущем пункте требованиями, что на единицу меньше максимально допустимой мощности данного класса. А именно, были отброшены схемы, для которых на узле B выполнялись операции $(\Omega_1, \infty), \bar{\Omega}_1$. В таких схемах узел B служит только для простоя и не принимает участия в работе системы, и, таким образом, они попадают под Конструкции 4 вида.

1.3.2. Схемы II класса

Таблица 1.7: Схемы II класса

	Узел A	Узел B
Операция 1	Ω_1	$(\Omega_1) (\Omega_1, \Theta) (\Omega_1, \infty) \overline{\Omega_1}$
Операция 2	$(\Omega_2) (\Omega_2, \Theta) (\Omega_2, \infty) \overline{\Omega_2}$	Ω_2

Общий вид схем, попадающих под данный класс, представлен таблицей 1.7. В ходе рассмотрения элементов II класса схем было замечено, что все 16 схем, попадающие под общий вид данного класса, удовлетворяют требованиям, описанным в разделе 1.2.

1.3.3. Схемы III класса

Таблица 1.8: Схемы III класса

	Узел A	Узел B
Операция 1	Ω_{12}	(Ω_{12})
Операция 2		

Данный класс представлен таблицей 1.8 и состоит ровно из одной схемы.

1.3.4. Схемы IV класса

Общий вид схем, попадающих под данный класс, представлен таблицей 1.9. Он состоит из 2 схем: схемы, у которых на узле B выполняются операции $(\Omega_1, \infty), \overline{\Omega_1}$, абсолютно совпадают со схемой III класса.

Таблица 1.9: Схемы IV класса

	Узел A	Узел B
Операция 1	Ω_1	(Ω_{12})
Операция 2	Ω_2	$(\Omega_2) (\Omega_2, \Theta) (\Omega_2, \infty) \overline{\Omega_2}$

Глава 2

Анализ схемы

2.1. Графы перехода состояний систем

Рассмотрим некоторую систему S . Как уже было сказано ранее, ей соответствует некоторая схема функционирования. На узлах системы выполняются операции Ω_i строго определенным образом, установленным схемой системы. Следовательно, каждый узел системы может находиться в одном из нескольких состояний: 0 — узел свободен, 1 — на узле выполняется Ω_1 , 2 — выполняется Ω_2 , $\overline{12}$ — выполняется Ω_{12} , w — такое состояние узла, при котором заявка на этом узле не обслуживается, а только «занимает место» и ждет, пока освободится узел, на котором текущая операция является основной, а v_1 и v_2 — на узле выполняется (Ω_1, Θ) и (Ω_2, Θ) соответственно, при этом узел находится в ожидании. Таким образом, состояние системы однозначно определяется состоянием его узлов, и будут записываться uv , где u — состояние узла A , v — узла B .

Под графом перехода состояний системы будем понимать ориентированный граф, вершинами которого являются возможные состояния системы, а ребра — интенсивности перехода из одного состояния в другое (величины, обратные среднему времени работы). Рассмотрим следующий пример, который поможет лучше понять данное определение.

Пример 1. СМО работает по следующему принципу. На нее поступают заявки с интенсивностью λ . Изначально система находится в состоянии покоя. При поступлении заявки над ней выполняется операция Ω_1 на узле A , после этого заявка переходит на узел B , где выполняется Ω_2 . Если узел A занят, то операция Ω_1 выполняется на узле B . Таким образом система соответствует схеме

$$\begin{array}{cc} \Omega_1 & (\Omega_1) \\ \overline{\Omega_2} & \Omega_2 \end{array} .$$

Узел A может находиться только в состояниях 0, 1, w , а узел B — в 0, 1, 2. Заметим, что единственный случай, когда узел A может перейти в состояние w , это, когда на A закончила выполняться Ω_1 , а узел B занят, а при его освобождении заявка сразу переходит на B и выполняется Ω_2 . Таким образом, система не может находиться в состоянии $w0$. Также заметим, что состояние 01 не допустимо, так как Ω_2 не выполняется на A , а операция Ω_1 выполняется приоритетнее на A .

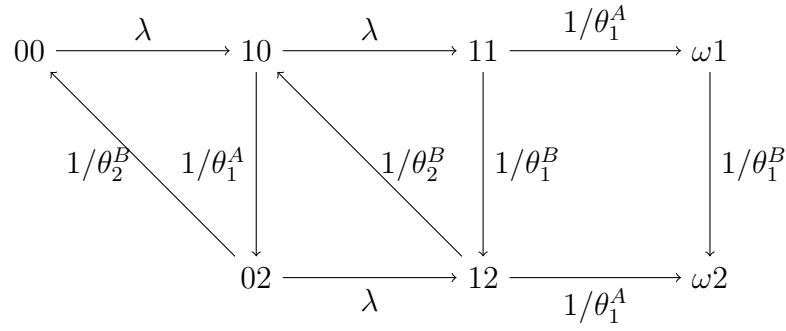


Рис. 2.1: Граф перехода состояний для Примера 1

В результате, построен граф перехода состояний, представленный на рисунке 2.1. Здесь Θ_i^j — среднее время выполнения операции Ω_i на узле j . А следовательно, интенсивности перехода из одного состояния в другое обратно пропорциональны времени выполнения соответствующей операции.

2.2. Численные характеристики системы

Как было показано в предыдущем пункте, по схеме функционирования системы можем быть построен граф перехода состояний. В [1] был предложен метод исследования свойств системы по построенному графу перехода состояний. Рассмотрим применение данного метода на Примере 1.

За $p_i(t)$ обозначим вероятность того, что в момент времени t система находится в состоянии i . Для определенности, рассмотрим состояние 00.

Найдем вероятность того, что в момент времени $t + \Delta t$ система находится в состоянии 00. Разобьем это событие на 2: в момент времени t система уже была в состоянии 00 и за время Δt не вышла из этого состояния; в момент времени t система была в состоянии 02 и за время Δt перешла в состояние 00.

Вероятность первого варианта найдем как произведение вероятности $p_{00}(t)$ того, что в момент времени t система находится в состоянии 00, на условную вероятность того, что будучи в состоянии 00, система за время Δt не перейдет в состояние 10. Эта условная вероятность равна $1 - \Delta t \lambda$. Аналогичные рассуждения и для нахождения вероятности второго варианта. В результате получена формула:

$$p_{00}(t + \Delta t) = p_{00}(t)(1 - \Delta t\lambda) + p_{02}(t)\frac{\Delta t}{\Theta_2^B}. \quad (2.1)$$

Перенеся в левую часть $p_{00}(t)$ в формуле (2.1), поделив обе части на Δt и перейдя к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$, получим:

$$\frac{\partial p_{00}}{\partial t}(t) = -p_{00}(t)\lambda + p_{02}\frac{1}{\Theta_2^B}. \quad (2.2)$$

Применив аналогичные рассуждения для всех состояний системы, получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial p_{00}}{\partial t}(t) = -p_{00}(t)\lambda + p_{02}(t)\frac{1}{\Theta_2^B}, \\ \frac{\partial p_{10}}{\partial t}(t) = p_{00}(t)\lambda + p_{12}(t)\frac{1}{\Theta_2^B} - p_{10}(t)\lambda - p_{10}(t)\frac{1}{\Theta_1^A}, \\ \frac{\partial p_{11}}{\partial t}(t) = p_{10}(t)\lambda - p_{11}(t)\frac{1}{\Theta_1^B} - p_{11}(t)\frac{1}{\Theta_1^A}, \\ \frac{\partial p_{02}}{\partial t}(t) = p_{10}(t)\frac{1}{\Theta_1^A} + p_{w2}(t)\frac{1}{\Theta_2^B} - p_{02}(t)\frac{1}{\Theta_2^B} - p_{02}(t)\lambda, \\ \frac{\partial p_{12}}{\partial t}(t) = -p_{12}(t)\frac{1}{\Theta_2^B} - p_{12}(t)\frac{1}{\Theta_1^A} + p_{02}(t)\lambda + p_{11}(t)\frac{1}{\Theta_1^B}, \\ \frac{\partial p_{w1}}{\partial t}(t) = -p_{w1}(t)\frac{1}{\Theta_1^B} + p_{11}(t)\frac{1}{\Theta_1^A}, \\ \frac{\partial p_{w2}}{\partial t}(t) = -p_{w2}(t)\frac{1}{\Theta_2^B} + p_{12}(t)\frac{1}{\Theta_1^A} + p_{w1}(t)\frac{1}{\Theta_1^B}. \end{array} \right. \quad (2.3)$$

Добавив к системе (2.3) начальные условия, можно получить зависимость $p_i(t)$.

Заметим, что нашу СМО можно рассмотреть как марковскую цепь с конечным числом состояний. Тогда к нашему графу применима Теорема 1, описанная в [2]:

Теорема 1. *Неприводимая непериодическая цепь Маркова обладает инвариантным распределением вероятностей тогда и только тогда, когда она эргодична.*

Таким образом, существуют $p_i = \lim_{t \rightarrow \infty} p_i(t)$ и их можно вычислить, перейдя к пределу при $t \rightarrow \infty$ в системе (2.3). В результате получится система (2.4):

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 = -p_{00}\lambda + p_{02}\frac{1}{\Theta_2^B}, \\ 0 = p_{00}\lambda + p_{12}\frac{1}{\Theta_2^B} - p_{10}\lambda - p_{10}\frac{1}{\Theta_1^A}, \\ 0 = p_{10}\lambda - p_{11}\frac{1}{\Theta_1^B} - p_{11}\frac{1}{\Theta_1^A}, \\ 0 = p_{10}\frac{1}{\Theta_1^A} + p_{w2}\frac{1}{\Theta_2^B} - p_{02}\frac{1}{\Theta_2^B} - p_{02}\lambda, \\ 0 = -p_{12}\frac{1}{\Theta_2^B} - p_{12}\frac{1}{\Theta_1^A} + p_{02}\lambda + p_{11}\frac{1}{\Theta_1^B}, \\ 0 = -p_{w1}\frac{1}{\Theta_1^B} + p_{11}\frac{1}{\Theta_1^A}, \\ 0 = -p_{w2}\frac{1}{\Theta_2^B} + p_{12}\frac{1}{\Theta_1^A} + p_{w1}\frac{1}{\Theta_1^B}, \\ \sum p_i = 1. \end{array} \right. \quad (2.4)$$

Решение системы (2.4) и будет значениями финальных вероятностей p_i .

Рассмотрим значение $p = p_{00} + p_{10} + p_{02} + p_{w1} + p_{w2}$. Каждая из этих вероятностей равна относительному количеству времени, которая система провела в состояниях 00, 10, 02, $w1$, $w2$ соответственно. А в сумме это время, которое система, рассматриваемая в примере 1, провела в состоянии ожидания. Таким образом была получена одна из численных характеристик системы.

Глава 3

Автоматизация процесса моделирования систем

3.1. Построение графа перехода состояний в режиме диалога

Для проверки полученных результатов и упрощения занесения графов функционирования систем была написана программа на языке R , которая по заданной схеме map и вектору состояний, в которых может находиться система, согласно данной схеме, $head$ составляет таблицу смежности графа перехода состояний.

Алгоритм построения такой таблицы смежности основан на полном переборе элементов множества всех возможных состояний системы $S = S_1 \times S_1$, где $S_1 = \langle 0, 1, 2, \overline{12}, w, v_1, v_2 \rangle$ — множество возможных состояний одного из узлов системы, и на анализе предложенной схемы map . Через w здесь обозначается такое состояние узла, при котором заявка на этом узле не обслуживается, а только «занимает место» и ждет, пока освободится другой узел, а v_i — выполняется первая часть операции (Ω_i, Θ) .

Состояния $0w, 0v_1, 0v_2, w0, v_10, v_20$ недопустимы ни для одной схемы.

Из состояния 00 можно перейти в 10 , если $map[1, 1] == "1"$, и в $\overline{12}0$, если $map[1, 1] == "\overline{12}"$.

К примеру, если состояние $i0 \in head$ при $i \in \langle 1, 2, \overline{12} \rangle$, то система может перейти в следующие состояния:

- iw , если $map[1, 2] == "(1, inf)";$
- iv_1 , если $map[1, 2] == "(1, \Theta)";$
- $i1$, если $map[1, 2] == "(1)";$
- $i\overline{12}$, если $map[1, 2] == "(\overline{12})".$

Из состояния $i1$ при $i \in \langle 0, 1, 2, \overline{12}, w, v_2 \rangle$ можно перейти в:

- iw , если $map[2, 2] == "(2, inf)"$ или $map[2, 2] ==;$
- iv_2 , если $map[2, 2] == "(2, \Theta)";$
- $i2$, если $map[1, 2] == "(2)"$ или $map[1, 2] == "2";$

И аналогично для других состояний. Результатом работы программы является квадратная матрица ранга $length(head)$ — длина массива $head$.

3.2. Моделирование систем

В теории массового обслуживания существуют достаточно простые методы определения необходимых характеристик для некоторого «упрощенного» класса систем. Но на практике реальные системы массового обслуживания отличаются от них. К примеру, поток поступающих событий не обязан быть пуассоновским, а время обслуживания в узлах системы может иметь любое распределение. Многие сложные задачи могут быть успешно решены при помощи метода статистических испытаний (метод Монте-Карло)[3]. Также задачи моделирования работы систем можно решать и аналитическими методами, при которых работа системы представляется в виде совокупности дифференциальных уравнений.

3.2.1. Аналитическая вероятностная модель

Под аналитическую модель будем подразумевать нахождение стационарного распределения вероятностей нахождения в каждом состоянии алгоритмом, рассмотренным в главе 2.

В результате выполнения алгоритма, описанного в разделе 3.1, получена матрица A — матрица смежности графа перехода состояний. Обобщив формулу 2.1 для производной системы, можно понять, что производная вероятности нахождения в состоянии i равна:

$$\frac{\partial p_i}{\partial t}(t) = \sum_{j \neq i} p_j(t) A[j, i] - p_i(t) \sum_{j \neq i} A[i, j]. \quad (3.1)$$

Применив формулу 3.1 для всех $i \in head$ и перейдя к пределу при $t \rightarrow \infty$, мы получим линейно зависимую систему линейных уравнений 3.2:

$$0 = \sum_{j \neq i} p_j A[j, i] - p_i \sum_{j \neq i} A[i, j], \quad (3.2)$$

где $i \in head$.

Необходимо добавить ограничение, что $\sum_{i \in head} p_i = 1$. Решив полученную систему, получаем стационарное распределение вероятностей, а из него находим показатели эффективности работы системы.

3.2.2. Моделирование по принципу Δt

Общее время моделирования T разбивается на маленькие участки Δt — такт времени. При этом предполагается, что существенные изменения состояний системы могут происходить только в точках вида $k\Delta t$.

Пусть существует функция $z(t)$, которая по заданому моменту времени определяет текущее состояние системы. И если можно легко определить значение $z(t + \Delta t)$ при известном значении $z(t)$, то процесс моделирования функционирования системы заключается в последовательном моделировании значений $z(k\Delta t)$ при условии, что известно предыдущее значение. Рассмотрим соответствующий алгоритм.

Пусть мы находимся в состоянии Z_0 , и из него система может перейти в состояния Z_1, \dots, Z_n , где время перехода для каждого i имеет функцию распределения $F_i(t)$. Тогда наличие перехода в состояние Z_i определяется выполнением неравенства 3.3:

$$\frac{F_i((k+1)\Delta t) - F_i(k\Delta t)}{1 - F_i(k\Delta t)} > \alpha. \quad (3.3)$$

Нетрудно видеть, что левая часть неравенства есть условная вероятность, что система перейдет в состояние Z_i в промежуток времени $t \in [k\Delta t, (k+1)\Delta t]$, при условии, что система находится в состоянии Z_0 .

Очевидно, что при моделировании таким способом времени переходов могут быть определены лишь с точностью Δt . Поэтому для увеличения точности уменьшают значение Δt , что в свою очередь увеличивает число шагов моделирование, что приводит к значительным затратам как времени моделирования, так и требуемой памяти.

3.2.3. Моделирование методом узловых точек

Пусть распределение времени между приходом заявок и распределения времени выполнения операций являются однопараметрическими. Пусть система находится в состоянии i . Пусть $next$ — множество всех состояний, которые достижимы из i . Далее моделируются случайные величины ξ_k с параметрами $A[i, k], k \in next$. Пусть m — индекс минимальной среди ξ_k . Тогда следующим состоянием становится m , а текущее время изменяется на ξ_m . Запишем соответствующий алгоритм:

- текущее время $cur_t = 0$

- текущее состояние $cur_i = 00$
- пока $cur_t < T$
 - определяем $next$ — индексы j элементов $A[cur_i, j] > 0$
 - моделируем вектор xi длины $length(next)$ — времена переходов
 - $min_t = \min(xi)$
 - $cur_t = cur_t + min_t$
 - увеличиваем счетчик времени $timer[cur_i] = timer[cur_i] + min_t$
 - следующее состояние — индекс минимального элемента xi
- суммируем $timer$ по индексам, в которых есть простой

Таким образом, при моделировании системы таким методом удастся найти ближайший момент времени, когда происходит изменение состояния системы. Такой момент и называется *узловой точкой*.

Глава 4

Программа

Одной из основных целей данной дипломной работы было написание программы, которая помогла бы студенту в обучении решению задач, представленных в курсе «Моделирование систем», была бы способна моделировать процесс работы систем различными методами. Также эта программа была бы полезна людям, чье производство или бизнес можно представить как систему массового обслуживания, описанную в данной работе. С помощью нее они смогут определить наилучшую схему работы своего производства.

В ходе диалога с программой пользователь может следующее:

- выбрать схему, по которой работает система;
- перечислить допустимые состояний, в которых может находиться система;
- составить граф переходов состояний системы;
- выбрать метод моделирования процесса работы системы;
- выбрать законы распределения времени поступления заявок и времени выполнения каждой операции на каждом узле;
- задать время работы системы и количество реализаций процесса работы системы;
- выбрать характеристику системы, которая будет наблюдаться;
- построить гистограмму распределения наблюдаемой характеристики.

Далее будет приведен пример диалога пользователя с программой.

На первом шаге пользователю предлагается заполнить допустимые состояния системы (Рис. 4.1) и выбрать схему, по которой функционирует система (Рис. 4.2).


A rectangular box with a thin black border containing the text "imena.png" in a monospaced font.

Рис. 4.1: Заполнение допустимых состояний системы.

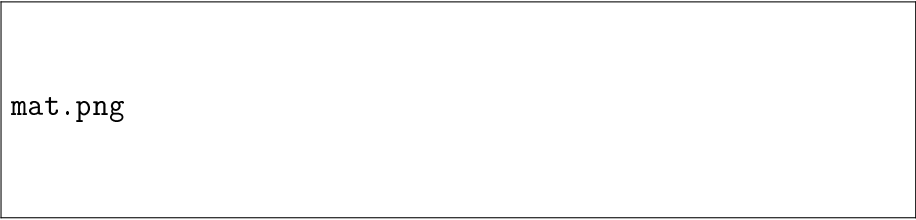
A rectangular box with a thin black border containing the text "mat.png" in a monospaced font.

Рис. 4.2: Выбор схемы функционирования системы.

Далее пользователь вводит основные показатели системы, такие как среднее время выполнения каждой операции для каждого узла, интенсивность поступления заявок (Рис. 4.3).

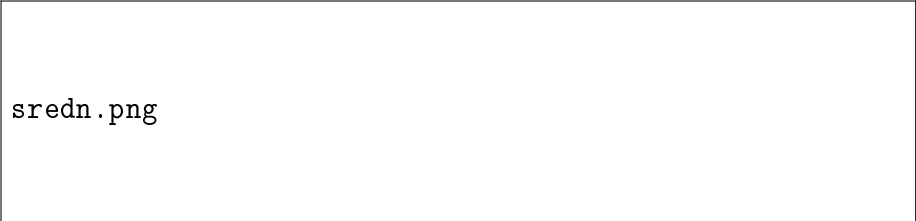

A rectangular box with a thin black border containing the text "sredn.png" in a monospaced font.

Рис. 4.3: Среднее время выполнения операций и интенсивность поступления заявок.


В результате программа автоматически составляет граф перехода состояний (Рис. 4.4), таким образом, пользователь может увидеть его или сравнить его с тем, который он сам построил.



graph.png

Рис. 4.4: Граф перехода состояний.

Далее пользователь выбирает законы распределения времени поступления заявок и времени выполнения операций (Рис. 4.5).



zak.png

Рис. 4.5: Законы распределения времени поступления и обработки заявок.

После этого пользователю предлагается на выбор 3 метода моделирования, для которых он выбирает количество реализаций и время работы системы. А также выбрать характеристику, за которой будут наблюдать.

Затем, в случае статистического метода, программа строит диаграмму распределения наблюдаемой характеристики и выдает её среднее значение. А в случае аналитической модели, программа выдаст среднее значение характеристики.

Заключение

В результате дипломной работы были получены следующие результаты:

- выполнен анализ систем, состоящих из 2 аппаратов, на каждом из которых могут выполняться 2 операции;
- произведена классификация схем функционирования таких систем;
- была написана программа, позволяющая автоматически составлять граф перехода состояний, моделировать работу системы 3 различными методами, анализировать различные характеристики эффективности работы системы.

Список литературы

1. Куприяшкин . . Основы моделирования систем. — Норильск : НИИ, 2015. — 135 с.
2. Феллер . Введение в теорию вероятностей и ее приложения. — М. : Мир, 1984. — 528 с.
3. Сушков . . Статистические модели систем. — СПб., 2003. — 83 с.