

## Слайд 1

Тема моей работы: производственные системы с маршрутизацией, зависящей от состояния. В работе рассматривается сеть массового обслуживания с зависимой от состояния маршрутизацией как модель гибкой производственной системы.

Практическое значение этого направления определяется широким использованием сетей массового обслуживания в качестве математических моделей гибких производственных систем, необходимостью исследования производственных систем и оптимизации.

## Слайд 2

Целью работы является исследование и анализ производственных систем с маршрутизацией, зависящей от состояния. Задачами являются: разработка алгоритма метода анализа данных производственных систем, программная реализация алгоритма и проведение численных экспериментов с разработанной программой.

## Слайд 3

В работе рассматривается гибкая производственная система, основные компоненты которой следующие:

1. Множество рабочих станций  $C_i$ . Каждая рабочая станция  $C_i$  производит обработку деталей разных типов  $t = 1, 2, \dots, T$  и может выполнять соответствующие типы производственных операций (например, сверление, фрезерование и пр.). Пусть  $I_t \subseteq I$  — набор рабочих станций, на которых производится обработка деталей типа  $t$ .

2. На станции  $C_i$  есть  $\kappa_i$  параллельно работающих приборов и локальное хранилище, где детали могут ожидать своей обработки.

3. В ГПС существует система транспортировки, обозначаемая как станция  $C_0$ , которая состоит из центрального хранилища и  $\kappa_0$  транспортеров (это могут быть, например, конвейеры), которые осуществляют транспортировку деталей из центрального хранилища на рабочие станции и обратно. Переход деталей между рабочими станциями напрямую запрещен.

4. Максимальное число деталей типа  $t$  на станции  $C_i$  ограничены емкостью рабочей станции  $s_{it}$ . Определим матрицу числа приборов в рабочих станциях и матрицу емкостей рабочих станций.

5. Общее число деталей типа  $t$  в производственной системе постоянно

и равно  $N_t$ . Определим вектор числа деталей  $\mathbf{N} = (N_t)$ ,  $t = 1, \dots, T$ .

6. Длительность обработки детали типа  $t$  на станции  $C_i$ ,  $i \in I_t$ , имеет экспоненциальное распределение с параметром  $\mu_{it}$ .

7. Дисциплина обработки на всех станциях  $C_i$ ,  $i = 0, \dots, L$ , — *RANDOM* (то есть детали выбираются для обработки случайным образом).

#### **Слайд 4**

Схема гибкой производственной системы представлена на рисунке.

Всякий раз, когда обработанная деталь покидает рабочую станцию, другая деталь того же типа сразу же поступает в нее. Рабочие станции или машины могут быть свободны (простаивать), но они никогда не блокируются, так как имеется механизм, который постоянно забирает из рабочих станций обработанные детали и доставляет их обратно в центральное хранилище (предполагается, что в центральном хранилище достаточно мест для размещения всех деталей в случае необходимости).

Данная гибкая производственная система с введенными выше предположениями описывается неоднородной замкнутой экспоненциальной сетью массового обслуживания.

#### **Слайд 5**

Определим состояние сети, соответствующей рассмотренной выше гибкой производственной системе.

Сформулируем маршрутизацию в кратчайшую очередь (PSQ-маршрутизацию) следующим образом. Вероятности перехода требований класса  $t$  из системы  $C_0$  в систему  $C_i$ ,  $i \in I_t$ , зависят от  $n_{0t}$  и от  $n_{it}$  — числа требований класса  $t$  в двух системах, и принимают форму

Несложно заметить следующие особенности этой схемы маршрутизации:

- маршрутные вероятности выше для систем с бóльшим числом свободных приборов;
- требования класса  $t$  никогда (т.е. с вероятностью ноль) не направляются в систему, в которой все места в очереди для ожидания требованиями этого класса заняты.

#### **Слайд 6**

Стационарное решение для сети  $\Gamma$  как модели гибкой производственной системы можно теперь обобщить следующим образом.

**Теорема 1.** Марковский процесс  $\bar{\eta}(\tau)$ , определенный в пространстве состояний  $S$  и управляемый PSQ–маршрутизацией, как определено в (?), является обратимым относительно времени и имеет следующую мультипликативную форму стационарного распределения вероятностей: (...).

### Слайд 7

Рассмотрим неоднородную замкнутую экспоненциальную сеть массового обслуживания  $L$  системами (включая систему транспортировки материалов, которая теперь обозначается как любая  $C_i$ ) и  $N$  требованиями.

Не теряя общности, предположим, что требуется получить предельное частное распределение вероятностей для системы  $C_L$  сети  $\Gamma'$ .

Определим векторы размерности  $T$ : (...). Пусть  $G(m, N)$  — нормализующая константа. Кроме того, определим (...). Обозначим через  $\pi_m(n, N)$  предельную вероятность того, что общее число требований в системе  $m$  будет равно  $n$ , когда общее число требований всей сети равно  $N$ . Тогда справедливо следующее следствие (...).

Алгоритм метода анализа сети массового обслуживания  $\Gamma$  с маршрутизацией, зависящей от состояния, имеет следующую структуру:

#### Блок 1. Ввод исходных данных

На начальном этапе работы алгоритма вводятся параметры сети массового обслуживания  $\Gamma$ :

$L$  — число СМО в СеМО;

$N = (N_t)$  — вектор начального числа требований в СеМО,  $t = 1, \dots, T$ ;

$\kappa = (\kappa_i)$  — вектор числа приборов в системах обслуживания СеМО,  $i = 0, \dots, L$ ;

$s = (s_{it})$  — матрица емкостей систем в СеМО,  $i = 0, \dots, L$ ,  $t = 1, \dots, T$ ;

$\mu = (\mu_{it})$  — матрица интенсивностей обслуживания требований системами СеМО,  $i = 0, \dots, L$ ,  $t = 1, \dots, T$ .

#### Блок 2. Перестановка СМО $C_i$ и $C_L$

Во втором блоке для вычисления стационарного распределения вероятностей состояний системы  $C_i$ ,  $i = 1, \dots, L$ , происходит перестановка системы  $C_i$  с последней системой  $C_L$ . Это осуществляется путем перестановки соответствующих элементов векторов.

#### Блок 3. Вычисление стационарного распределения вероятностей со-

стояний СМО  $C_i$

### **Блок 5. Вычисление стационарных характеристик СеМО**

На данном этапе происходит вычисление следующих стационарных характеристик СеМО:

- м. о. числа  $t$ -требований в СМО;
- м. о. числа занятых  $t$ -требованиями приборов в СМО;
- интенсивность входящего потока  $t$ -требований в СМО;
- коэффициенты использования обслуживающих приборов СМО  $t$  - требованиями.

Эти характеристики вычисляются по формулам (...).

### **Блок 6. Вывод результатов**

В данном блоке происходит вывод (на экран или в файл) стационарного распределения и стационарных характеристик, полученных в блоке 4 и 5.

# 1 Описание и назначение программы

Была разработана программа на языке Java, предназначенная для анализа производственных систем с маршрутизацией, зависящей от состояния.

Программа позволяет вычислить стационарное распределение и основные характеристики производственных систем с маршрутизацией, зависящей от состояния. Вычисления могут производиться как для однородной, так и для неоднородной сети массового обслуживания.

Разработанная программа имеет графический интерфейс. Входные данные считываются с формы, проверяются на корректность, и в соответствии с проверкой либо производится анализ, либо выдается сообщение об ошибке. Для рассматриваемой сети входными данными являются: число систем, число классов требований, вектор числа требований определенного класса, вектор числа обслуживающих приборов, емкости систем и интенсивности обслуживания. Выходными данными являются стационарное распределение и основные стационарные характеристики систем, а именно: м. о. числа требований, интенсивности потока требований и коэффициенты использования обслуживающих приборов.

При запуске программы появляется окно, изображенное на рисунке (...). Для удобства существует возможность открыть файл с заданными в нем входными данными.

Для анализа при заданных входных данных служит кнопка «Получить результаты». При ее нажатии открывается окно с подсчитанными в ходе анализа основными характеристиками СМО и стационарным распределением (слайд ...).

## 2 Аспекты практического применения

Было проведено несколько серий экспериментов с использованием разработанной программы анализа производственных систем с маршрутизацией, зависящей от состояния.

### Эксперимент 1

Рассмотрим производственную систему с 18 машинами, которые сгруппированы по 9 рабочим станциям. Число приборов, интенсивность обработки детали одним прибором и емкость локального хранилища на каждой станции соответственно равны: (...)

Математическое ожидание числа деталей ( $\bar{n}_i$ ), пропускная способность ( $\lambda_i$ ) и коэффициенты использования приборов ( $\psi_i$ ) для каждой станции приведены в таблице (...).

### Эксперимент 2

Возьмем гибкую производственную систему из примера 3 и посмотрим, как будут изменяться характеристики рабочих станций  $C_i$ ,  $i = 1, 2$ , с изменением числа приборов, емкостей рабочих станций и интенсивностей обработки деталей (эти данные предполагаются одинаковыми для обеих рабочих станций). Результаты представлены на рисунках (...).

### Слайд ?

Результаты работы следующие:

- рассмотрены производственные системы с маршрутизацией, зависящей от состояния;
- приведена теорема, согласно которой соответствующая СеМО имеет стационарное распределение;
- разработан алгоритм метода анализа производственных систем с маршрутизацией, зависящей от состояния;
- разработана программа, вычисляющая основные стационарные характеристики;
- проведены численные эксперименты с разработанной программой и приведены соответствующие результаты.