

РЕФЕРАТ

Расчетно-пояснительная записка 24 с., 3 рис., 12 источн., 1 прил.
МОДЕЛИРОВАНИЕ, МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЦЕНТРЫ ОБСЛУЖИ-
ВАНИЯ, СЕТИ ПЕТРИ, КОНЕЧНЫЕ АВТОМАТЫ, ВЕРОЯТНОСТНЫЕ
АВТОМАТЫ

Объектом исследования являются методы моделирования многофунк-
циональных центров обслуживания.

Цель работы — провести обзор и сравнить существующие методы мо-
делирования многофункциональных центров обслуживания.

В процессе работы были изучены существующие методы моделирова-
ния многофункциональных центров обслуживания и проведён их сравнитель-
ный анализ.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
1 Анализ предметной области	7
1.1 Основные понятия	7
1.2 Моделирование многофункциональных центров обслуживания .	8
2 Классификация методов моделирования многофункциональных центров обслуживания	11
2.1 Конечные автоматы	11
2.2 Вероятностные автоматы	14
2.3 Системы массового обслуживания	15
2.4 Сети Петри	18
3 Сравнение методов моделирования многофункциональных центров обслуживания	21
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	22
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	23

ВВЕДЕНИЕ

Моделирование — процесс замещения одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта-модели. Широко применяется в научных исследованиях и в прикладных задачах в различных областях. Компьютерное моделирование является одним из эффективных методов изучения сложных систем. Модели проще и удобнее исследовать, когда реальные эксперименты затруднены из-за финансовых или физических препятствий. Формализованность позволяет чётко обозначить основные факторы, определяющие свойства изучаемого объекта-оригинала и связи между ними.

В современном мире управление операционной деятельностью и оптимизация процессов обслуживания стали ключевыми вопросами для организаций, предоставляющих различные виды услуг. Одной из важных составляющих этой области является моделирование многофункциональных центров обслуживания, пересекающихся с различными видами услуг и комплексными процессами. Классификация методов моделирования многофункциональных центров обслуживания и анализ их применимости представляют высокую актуальность для исследователей и практиков.

Моделирование многофункциональных центров позволяет проанализировать и проконтролировать правильность функционирования систем, без больших затрат на оборудование, персонал и обслуживание. Также даёт возможность обнаружить ошибки проектирования на этапе подготовки, а не во время эксплуатации, что также значительно снижает расходы.

Актуальность этой темы объясняется огромным и постоянно растущим спросом людей на услуги предоставляемые данными центрами. Только за 2022 в Москве в таких центрах было оказано более 27 миллионов услуг [2]. Для анализа и контроля правильности функционирования многофункциональных центров обслуживания применяется моделирование. Это позволяет сокращать время проектирования, уменьшать конечную стоимость создания центров, исключаем множественные исправления дефектов выявленных в ходе эксплуатации.

Целью данной научно-исследовательской работы — провести обзор и сравнить существующие методы моделирования многофункциональных цен-

тров обслуживания.

Для достижения поставленной в работе цели предстоит решить следующие задачи:

- изучить основные понятия моделирования многофункциональных центров обслуживания;
- описать и классифицировать существующие методы;
- произвести сравнительный анализ рассмотренных методов.

1 Анализ предметной области

1.1 Основные понятия

При моделировании важно использовать модель, адекватную исследуемой системе. Это означает, что существенные с точки зрения разработчика свойства модели и системы в достаточной для анализа степени должны совпадать. В исследованиях используют модели, а не реальные системы по следующим причинам: реальные системы очень сложны, поэтому для их анализа применяются упрощённые модели, или проведение эксперимента просто невозможно, из-за каких-либо физических ограничений. Определения основных понятий [1]:

- система — совокупность объектов, взаимодействующих друг с другом. Может являться частью другой системы и включать в себя системы;
- модель — объект, созданный для получения новых знаний о объекте-оригинале, отражающий только существенные свойства оригинала;
- моделирование — исследование каких-либо явлений, систем или процессов путём построения и анализа модели.

На рисунке 1.1 представлена классификация основных видов моделирования [1].

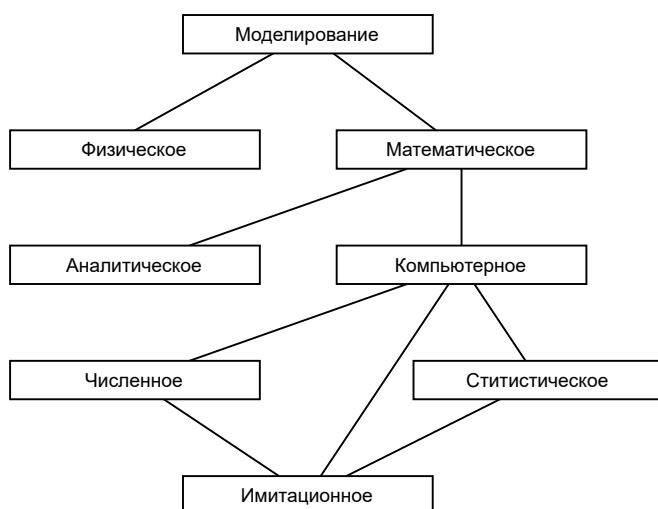


Рисунок 1.1 – Виды моделирования

При **физическом** моделировании используется сама система или подобная ей. Физическая модель может быть реализована в уменьшенном или увеличенном масштабе [1].

Под **математическим** моделированием понимается процесс установления соответствия реальной системе математической модели и исследование этой модели, позволяющее получить характеристики реальной системы. Применение математического моделирования позволяет исследовать объекты, реальные эксперименты над которыми затруднены или невозможны. В зависимости от вида модели математическое моделирование делится на аналитическое и компьютерное. Заметим, что аналитическое решение предпочтительнее всегда, но его обычно удаётся получить лишь после ряда упрощений, ухудшающих адекватность модели [1].

При **компьютерном** моделировании модель формулируется в виде алгоритма или программы. Можно разделить на численное, статистическое и имитационное [1].

При **численном** моделировании используются методы вычислительной математики (численное решение уравнений, задающих модель, при различных наборах параметров модели) [1].

При **статистическом** моделировании выполняется обработка данных о системе с целью получения статистических характеристик системы [1].

При **имитационном** моделировании процесс функционирования исследуемой системы воспроизводится на ЭВМ при соблюдении логической и временной последовательности протекания процессов, что позволяет узнать данные о состоянии системы или отдельных ее элементов в определённые моменты времени [1].

1.2 Моделирование многофункциональных центров обслуживания

Многофункциональные центры обслуживания (МФЦ) – это современные организации, призванные обеспечивать широкий спектр административных и государственных услуг гражданам и юридическим лицам в одном месте. В последние годы подобные центры получили широкое распространение

в многих странах, в том числе и в России, где они известны как "Мои документы". Представляют собой структурированные системы, предназначенные для предоставления различных видов услуг клиентам. Они могут включать в себя комплексные процессы, включающие как прямое обслуживание клиентов, так и внутренние операционные процессы.

Для эффективного управления многофункциональными центрами обслуживания необходимо иметь понимание их работы и оптимальные стратегии управления. Моделирование является мощным инструментом, который позволяет анализировать и прогнозировать процессы обслуживания, а также оптимизировать их эффективность.

Услуги в центре могут оказываться как непосредственно представителями организаций-участников, так и универсальными специалистами, являющимися работниками центра. Помимо этого все услуги, оказываемые на площадке МФЦ, можно разделить на три типа [3]:

- консультации (результатом таких услуг является информация, за которой прошёл заявитель);
- приём документов (при получении таких услуг заявитель приносит и отдаёт некий набор документов);
- выдача документов (как правило за такими услугами обращаются после первых двух, при их получении заявителю передаётся некоторый набор бумаг).

Разные типы услуг стоит рассматривать по-разному в процессе моделирования.

В результате моделирования центра можно получить множество различных параметров его работы, на основе которых делать выводы об текущей эффективности и предлагать улучшения, которые также можно будет промоделировать. Такой итеративный процесс позволит создать экономичную и эффективную систему обслуживания клиентов. Выделяются следующие характеристики центра, которые можно получить в результате моделирования и имеют практическую ценность [4], [5]:

- среднее время обслуживания;
- среднее время пребывания клиентов в очереди;

- вероятность простоя специалиста;
- вероятность попадания клиента в очередь;
- вероятность ухода клиента.

Исходя из этих и других характеристик можно оценить общую эффективность работы МФЦ, экономическая эффективность работы МФЦ, социальная эффективность работы МФЦ и т. д. Все характеристики измеряются отдельно для разных типов специалистов и очередей.

2 Классификация методов моделирования многофункциональных центров обслуживания

2.1 Конечные автоматы

Автомат можно представить как некоторое устройство (чёрный ящик), на которое подаются входные сигналы, снимаются выходные сигналы и которое может иметь определённые внутренние состояния. Они являются дискретно-детерминированными моделями (F – схема) [6].

Введём понятие алфавит, понимая под ним конечное множество объектов любой природы. В этом случае сами объекты можно называть буквами, ах конечную упорядоченную совокупность называют словом [6].

Конечный автомат имеет один вход и один выход. Он представляет собой объект, функционирующий в дискретные моменты времени. В каждый момент времени t_i автомат находится в одном из возможных состояний $z(t_i)$. Начиная с нулевого момента времени на вход автомата поступает входной сигнал, который является одной из букв входного алфавита. Автомат следующим образом реагирует на поступление входных сигналов. Во-первых, состояние автомата изменяется в соответствии с одношаговой функцией переходов:

$$z(t_i) = \varphi(z(t_{i-1}), x(t_i)). \quad (2.1)$$

Во-вторых в каждый момент на выходе автомата появляется выходной сигнал $y(t_i)$, который является буквой выходного алфавита Y , и определяется функцией выходов:

$$y(t_i) = \psi(z(t_{i-1}), x(t_i)). \quad (2.2)$$

Таким образом конечный автомат можно определить как кортеж $A = (X, Y, Z, z_0, \varphi, \psi)$, где $X = \{x_1, \dots, x_m\}$ — множество входных сигналов (входной алфавит), $Y = \{y_1, \dots, y_n\}$ — множество выходных сигналов (выходной алфавит), $Z = \{z_1, \dots, z_f\}$ — множество состояний (внутренний алфавит), z_0 — начальное состояние, φ — функция переходов, которая некоторым парам «состояние – входной сигнал» ставит в соответствие новое состояние автома-

та, ψ – функция выходов, которая некоторым парам «состояние – входной сигнал» ставит в соответствие выходные сигналы автомата. В общем случае конечный автомат может иметь много входов, состояний и выходов. В этом случае алфавиты представляют собой прямые произведения более простых алфавитов [6].

Смысл работы автомата состоит в том, что он реализует некоторое отображение множества слов входного алфавита в множество слов выходного алфавита. На уровне абстрактной теории понятие «работа автомата» понимается как преобразование входных слов в выходные. Можно сказать, что в данном случае мы отвлекаемся от внутренней структуры автомата и основное внимание уделяем поведению автомата относительно внешней среды [6].

На практике наибольшее распространение получили автоматы Мили и Мура. Автомат Мили функционирует по формулам (2.1) и (2.2), то есть состояние и выходной сигнал зависят от входного сигнала и предыдущего состояния. Есть несколько способов задания автоматов. У автомата Мура функция переходов (2.1), но функция выходов имеет вид $y(t_i) = \psi(z(t_{i-1}))$, то есть не зависит от входного сигнала. Автомат Мили — более общий автомат, чем автомат Мура. У каждого конечного автомата Мура есть конечный автомат Мили его интерпретирующий [7].

В табличном виде автомат Мили задаётся двумя таблицами. Первая таблица описывает функцию перехода, в неё столбцы это состояния, а строки входные символы, а на пересечении находятся новые состояния. Вторая таблица аналогичным образом описывает функцию выходов. Для автомата Мура первая таблица такая же, а вторая состоит только из двух строк состояний и выходов [7].

При решении задач моделирования часто более удобной формой является матричное задание конечного автомата. При этом можно рассматривать две матрицы — матрицу переходов и матрицу выходов. Матрица переходов есть квадратная матрица, строки которой соответствуют исходным состояниям, а столбцы — состояниям перехода. Элементы на пересечении соответствуют входному сигналу, вызывающему переход. Матрица выходов строится аналогично, но её элемент соответствует выходному сигналу, выдаваемому при переходе. При матричном задании конечного автомата Мура матрица переходов аналогична соответствующей матрице автомата Мили, а выход описывается

вектором выходов [7].

Ещё есть графический способ, при котором автомат представляется в виде направленного графа. Вершинами являются состояния, если из одного состояния можно перейти в другое, то они соединяются направленной дугой и ей присваивается метка. Эта метка содержит входной и выходной символ перехода. Граф автомата Мили изображён на рисунке 2.1 [7].

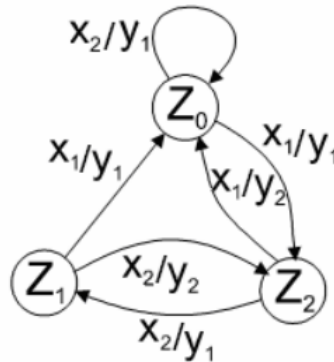


Рисунок 2.1 – Граф автомата Мили

Граф автомата Мура задаётся аналогично, только метка путь на содержит выходного символа. Он привязан к вершине. Граф автомата Мура изображён на рисунке 2.2 [7].

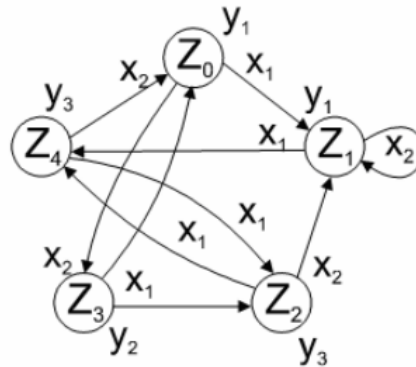


Рисунок 2.2 – Граф автомата Мили

По характеру отсчёта времени конечные автоматы делятся на синхронные и асинхронные. Автомат считается синхронным, когда моменты поступления входных сигналов, изменения состояний и выдачи выходных сигналов, определяются принудительно синхронизирующими сигналами (заранее определены). Реакция автомата на каждое значение входного сигнала заканчивается за один такт синхронизации. Асинхронные автоматы не имеют

«жесткой» тактности. Они изменяют свои состояния при поступлении входных сигналов, которые могут появляться в произвольные моменты времени из некоторого интервала [6].

Конечные автоматы работают с дискретным временем и позволяют моделировать только детерминированные объекты.

2.2 Вероятностные автоматы

Дискретно-стохастический подход (Р — схемы) использует в качестве математического аппарата вероятностные автоматы, которые можно определить, как дискретные потактные преобразователи информации с памятью, функционирование которых в каждом такте зависит только от состояния памяти в них и может быть описано статистически. Для такого автомата характерно задание таблицы вероятностей перехода автомата в некоторое состояние и появления некоторого выходного сигнала в зависимости от текущего состояния и входного сигнала [8].

Конечный автомат рассматривался как детерминизированный, то есть каждой паре состояния и входа однозначно сопоставлялись новое состояние и выход с помощью функций переходов и выходов. Вероятностный конечный автомат — такой автомат, который вместо однозначного соответствия задаёт лишь условные вероятности появления некоторых пар новое состояние и выход, при условии реализаций некой пары состояния и входа [9].

Кроме того, для вероятностного конечного автомата не задаётся однозначно начальное состояние, а задаётся лишь безусловные вероятности, с которыми каждое из состояний может оказаться начальным. Эти вероятности должны быть в промежутке от 0 до 1 и в сумме давать 1 [9].

Описание функционирования вероятностного конечного автомата можно трактовать так, что для каждой пары значений состояния и входа задаётся совместное условное распределение вероятностей осуществления пар нового состояния и выхода. Сумма этих вероятностей должна быть равна единице для каждой пары состояния и входа [9].

Если считать вероятности нового состояния и выхода независимо друг от друга, то этот автомат называется вероятностным автоматом Мили. Также подобно конечному автомату Мура возможен вероятностный конечный

автомат, у которого выход не зависит от входа, а зависит только от текущего состояния [9].

Вероятностный конечный автомат называется автономным, если все случайные законы распределения одинаковы при различных вариантах сочетания алфавитов входов [9].

Вероятностные автоматы работают с дискретны как и конечны, но позволяют отражать стохастатическую природу объектов.

2.3 Системы массового обслуживания

Непрерывно–стохастический подход (Q — схема) применяется для формализации процессов обслуживания. Этот подход наиболее известен ввиду того, что большинство производственных, экономических, технических и т.д. систем по сути являются системами массового обслуживания. Под системой массового обслуживания понимают динамическую систему, предназначенную для эффективного обслуживания потока заявок при ограничениях на ресурсы системы. В любой системе массового обслуживания можно выделить элементарный прибор, в котором уже выделяют накопитель заявок некоторой ёмкости, ожидающих обслуживания, канал обслуживания и потоки событий. Существуют поток заявок на обслуживание, характеризующийся моментами времени поступления и их атрибутами, и поток обслуживания, характеризующийся моментами начала и окончания обслуживания заявок. Под непрерывностью тут обозначается непрерывность времени. Моменты поступления заявки в систему и окончания обслуживания заявки — случайны. Структура системы массового обслуживания приведена на рисунке 2.3 [8].

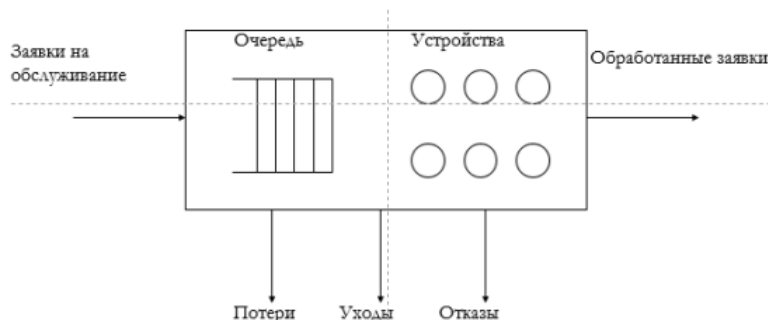


Рисунок 2.3 – Структурная схема СМО

Основными задачами решаемые в рамках теории массового обслуживания являются: анализ, то есть определение количественных характеристик СМО при заданной структуре и заданных параметрах элементов, и синтез оптимальной структуры при заданных характеристиках и ограничениях на параметры элементов [6].

На вход СМО поступают заявки на обслуживание, образующие входящий поток. Они поступают из источником заявок. В зависимости от характера источника заявок различают разомкнутые и замкнутые СМО. В разомкнутых число заявок, вырабатываемых источником, считается неограниченным и поведение источника никак не связано с состоянием и=системы в любой момент времени. Для замкнутых СМО характерно конечное количество заявок, циркулирующих в системе. Обслуженные заявки возвращаются в источник и через некоторое время могут попасть опять на вход [6].

По характеру обслуживания заявок все системы массового обслуживания делятся на три типа:

- системы с отказами;
- системы с ожиданием;
- системы смешанного типа.

СМО первого типа характеризуются тем, что поступившие в данный момент времени заявка тут же принимается к обслуживанию, если имеется хотя бы один свободный канал, или получает отказ, если все каналы заняты. В системах с ожиданием заявка в случае занятости всех каналов обслуживания становится в очередь и ожидает освобождения одного из них. Это наиболее представительный на практике класс систем. Системам смешанного типа присущи особенности двух вышеописанных систем. Заявка в такой системе становится в очередь, если в ожидании находится ограниченное число заявок. Этим числом может быть длина очереди. Ограниченной также может быть и по длительность ожидания [10].

По дисциплине обслуживания заявок выделяют системы без приоритета и с приоритетом [10].

Ещё одним из признаков классификации является количество обслуживающих устройств или каналов: если система имеет один прибор или один

канал, то она называется одноканальной, если же их более одного, то она называется многоканальной [11].

Важнейшей характеристикой СМО является входящий поток заявок. Число заявок в единицу времени, обычно называется интенсивностью и обозначается λ . Если входящий поток является простейшим, поток распределён по закону Пуассона, то достаточно знать лишь λ (или интервал поступления заявок $t_i = \frac{1}{\lambda}$). А интервала входящего на обслуживание потока $v_\lambda = 1$. В общем случае надо знать среднее значение λ и t_i и дисперсионную характеристику интервала входящего на обслуживание потока v_λ [10].

Система характеризуется числом каналов обслуживания n , длительностью обслуживания t_p одной заявки и пропускной способностью μ , число заявок, которое может обслужить поток в единицу времени. Отношение $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{t_p}{t_i}$ называется коэффициентом использования пропускной способности или приведённой плотностью потока [10].

Многофункциональный центр обслуживания можно смоделировать используя, разомкнутую многоканальную СМО смешанного типа без приоритетов. Тогда рассмотрим n -канальную СМО с ожиданием, на которую поступает поток заявок с интенсивностью λ . Интенсивность обслуживания одного канала m . Число мест в очереди m . Тогда основные показатели работы СМО приведены ниже [10].

Вероятность того, что система находится в состоянии, в котором все каналы свободны обозначается как p_0 и вычисляется по формуле

$$p_0 = \left(\sum_{i=0}^n \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^n + 1(1 - (\frac{\rho}{n})^m)}{n \cdot n!(1 - \frac{\rho}{n})} \right)^{-1}. \quad (2.3)$$

Среднее число заявок в очереди обозначается как L_q и вычисляется по формуле

$$L_q = \frac{\rho^{n+1} p_0 \left(1 - \left(m + 1 - m \frac{\rho}{n} \right) \left(\frac{\rho}{n} \right)^m \right)}{n \cdot n! \left(1 - \frac{\rho}{n} \right)^2}. \quad (2.4)$$

Среднее число заявок под или среднее число занятых каналов обозначается как \bar{k} и вычисляется по формуле

$$\bar{k} = \rho \left(1 - \frac{\rho^{n+m}}{n^m \cdot n!} p_0 \right). \quad (2.5)$$

Среднее число заявок в системе обозначается как L_s и вычисляется по формуле

$$L_s = L_q + \bar{k}. \quad (2.6)$$

Относительная пропускная способность обозначается как Q и вычисляется по формуле

$$Q = 1 - \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} p_0. \quad (2.7)$$

Абсолютная пропускная способность системы обозначается как A и вычисляется по формуле

$$A = \lambda Q. \quad (2.8)$$

Под системой массового обслуживания понимают динамическую систему, предназначенную для эффективного обслуживания потока заявок при ограничениях на ресурсы системы. Она является непрерывно–стохастической моделью, где непрерывность подразумевает непрерывность времени. Позволяет моделировать случайные процессы. К данной модели сводится множество систем реального мира. В основном используется для исследования поведения заявок, находящихся в очереди, для получения услуги.

2.4 Сети Петри

Сетевой подход (N — схема) используется для формализованного описания и анализа причинно–следственных связей в сложных системах, где одновременно протекает несколько процессов. Самым распространенным формализмом, описывающим структуру и взаимодействие параллельных систем и процессов, являются сети Петри.

Сеть Петри — это математическая модель дискретных динамических систем, ориентированная на качественный анализ и синтез таких систем. Формально в терминах теории систем сеть Петри это кортеж $PN = (O, P, T, F, M_0)$ где $O = \{0, 1, 2, \dots\}$ — множество дискретных моментов времени; $P = \{p_1, p_2, \dots\}$ — непустое множество элементов сети, называемых позициями; $T = \{t_1, t_2, \dots\}$ — непустое множество элементов сети, называемых переходами; $F : (P \times T) \cup (T \times P) \rightarrow \{0, 1, 2, \dots, k, \dots\}$ — функция инцидентности, где k — кратность дуги; M_0 — начальная маркировка позиций. Множества позиций и переходов

не пересекаются.

Функция инцидентности может быть представлена в виде $F = F^p \cup F^t$ и фактически задаёт два отображения $F^p(p, t) = P \times T \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$, т.е. для каждой позиции указываются связанные с ней переходы (с учетом их кратности); $F^t(t, p) = T \times P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$, т.е. для каждого перехода указываются связанные с ним позиции (также с учетом кратности).

Эти функции, в общем случае зависящие от времени, могут быть представлены матрицами инцидентности. Из вершины–позиции $p_i \in P$ дуга в вершину–переход $t_j \in T$ существует тогда и только тогда, когда элемент на пересечении i -ой строки и j -го столбца в матрице $f_{ij}^p > 0$. В этом случае говорят, что t_j выходной переход позиции p_i . Аналогичным образом определяется выходная позиция перехода.

Каждая позиция $p_i \in P$ может содержать некоторый целочисленный ресурс $\mu(p) \geq 0$, называемый числом фишек внутри позиции. Вектор $M = [\mu_1, \mu_2, \dots]$ называется маркировкой (разметкой) сети Петри. Каждая маркировка — это отображение $M : P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$.

Сети Петри функционирует в дискретном времени и концентрируют внимание на локальных событиях (переходах), локальных условиях (позициях) и локальных связях в отличие от конечных автоматов. Это позволяет лучше моделировать асинхронные системы.

Смена маркировок (начиная с M_0) происходит в результате срабатывания переходов сети. Переход сети $t_j \in T$ может сработать при маркировке M , если для всех входных позиций $p_i \in P$ выполняется условие $\mu_i(p_i) - f_{ij}^p \geq 0$, т.е. если каждая входная позиция для данного перехода содержит столько же и ли больше чем кратность ведущей к переходу дуги. В результате срабатывания перехода в момент времени θ происходит смена маркировки по правилу: $\mu_i(\theta + 1) = \mu_i(\theta) - f_{ij}^p(\theta) - f_{ji}^t(\theta)$. То есть переход изымает из каждой своей входной позиции число фишек, равное кратности входных дуг, и посылает в каждую свою выходную позицию число фишек, равное кратности выходных дуг. Если может сработать несколько переходов, то срабатывает один, любой из них. Функционирование сети останавливается, если при некоторой маркировке ни один из ее переходов не может сработать. В силу своей недетерминированности при одинаковой начальной разметке сети Петри могут порождать различные последовательности срабатывания ее переходов. Эти

последовательности образуют слова в алфавите T . Множество всевозможных слов, порождаемых сетью Петри, называют языком сети Петри. Две сети Петри эквивалентны, если порождают один и тот же язык.

Сети Петри также представимы в виде двудольного ориентированного мультиграфа. Этот граф содержит:

- позиции (места), обозначаемые кружками;
- переходы, обозначаемые планками;
- ориентированные дуги (стрелки), соединяющие позиции с переходами и переходы с позициями.

Благодаря наличию кратных дуг сеть Петри есть мультиграф. Благодаря двум типам вершин граф называется двудольным. Поскольку дуги имеют направление, граф является ориентированным. Пример такого графа изображён на рисунке 2.4.

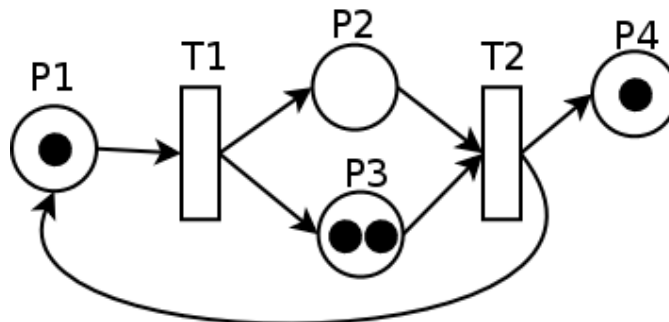


Рисунок 2.4 – Граф сети Петри

3 Сравнение методов моделирования многофункциональных центров обслуживания

Исходя из данного описания моделей, используемых для моделирования многофункциональных центров обслуживания, можно сделать вывод о наиболее подходящей.

Конечные автоматы плохо подходят для данной задачи, так как работает только с полностью детерминизированными системами. Поэтому они не смогут в полной мере отобразить и проанализировать МФЦ.

В отличие от конечных автоматов, в терминах которых описываются глобальные состояния систем, сети Петри концентрируют внимание на локальных событиях (переходах), локальных условиях (позициях) и локальных связях между событиями и условиями. Поэтому в терминах сетей Петри более адекватно, чем с помощью автоматов, моделируется поведение асинхронных систем, коими и являются многофункциональные центры обслуживания. По этой же причине и не лучшим выбором являются вероятностные автоматы, хотя они и могут моделировать стохастические процессы.

По сравнению с системами массового обслуживания сети Петри лучше представляют и отображают свойства сложных систем, также имеют возможность наглядного графического представления. Помимо этого они обладают модификацией в виде вложенных сетей Петри, которые позволяют детальнее отобразить структуру МФЦ. Также они как и СМО позволяют моделировать стохастические процессы.

Исходя из вышеприведённого сравнения можно сделать вывод о том, что сети Петри являются наилучшим выбором среди рассмотренных методов для моделирования многофункциональных центров обслуживания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель, которая была поставлена в начале научно-исследовательской работы, была достигнута: проведён обзор и сравнение существующих методов моделирования многофункциональных центров обслуживания.

Решены все поставленные задачи:

- изучены основные понятия моделирования многофункциональных центров обслуживания;
- описаны и классифицированы существующие методы;
- произведён сравнительный анализ рассмотренных методов.

В ходе исследования были определены особенности, преимущества и недостатки рассмотренных методов. В итоге был сделан вывод о том, что лучше всего для моделирования многофункциональных центров обслуживания подходят сети Петри. Так как они позволяют моделировать стохастические системы, концентрируются на локальных событиях, что позволяет им лучше моделировать поведение асинхронных систем, а также вложенные сети Петри позволяют наилучшим образом представить модель функционирования МФЦ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Градов В.М. Компьютерное моделирование / В.М. Градов, Г.В. Овечкин, П.В. Овечкин, И.В. Рудаков — М.:КУРС ИНФРА-М, 2019. — 264 С.
2. Посещаемость «Мои документы» в 2022 году [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.mos.ru/news/item/117681073/#:~:text=%D0%95%D0%B6%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D0%BD%D0%BE%20%D0%B2%20%D0%BE%D1%84%D0%B8%D1%81%D1%8B%20%C2%AB%D0%9C%D0%BE%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B,%D0%BA%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80%D1%8B%D1%85%20%D0%B4%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%83%D0%BF%D0%BD%D1%8B%20%D0%BF%D0%BE%20%D1%8D%D0%BA%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D1%83%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%BF%D1%83>. (дата обращения: 12.11.2023).
3. Чуев А. В., Юдицкий С. А., Магергут В. З. Расширение концепции ООО-модели для систем массового обслуживания на примере многофункционального центра предоставления государственных и муниципальных услуг // Экономика. Информатика. — 2015. — Т. 33. — №. 1 (198). — С. 85-93.
4. Пронникова Т. Ю., Рассказова М. Н. Применение имитационного моделирования для оптимизации бизнес-процессов обслуживания клиентов в многофункциональном центре // Прикладная математика и фундаментальная информатика. — 2022. — С. 122-123.
5. Сутягина Н. И. Моделирование деятельности многофункционального центра как системы массового обслуживания // Карельский научный журнал. — 2015. — №. 1 (10). — С. 199-203.
6. Бобков С.П. Моделирование систем: учеб. пособие / С.П.Бобков, Д. О. Бытев; Иван. гос. хим. тех. ун-т. — Иваново, 2008. — 156 с.
7. Ожиганов А.А. Теория автоматов. Учебное пособие. — СПб: НИУ ИТМО, 2013. — 84 с.

8. Альсова О.К. Моделирование систем: учеб. пособие. -Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. — 72 с.

9. Блюмин, С. Л. Дискретное моделирование систем автоматизации и управления [Текст]: монография / С.Л. Блюмин, А.М. Корнеев ; Липецкий экологогуманит. ин-т. – Липецк: ЛЭГИ, 2005. — 124 с.

10. Осипов Г.С. Математическое и имитационное моделирование систем массового обслуживания. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2017. – 56 с.

11. Григорьева Т. Е., Донецкая А. А., Истигечева Е. В. Моделирование одноканальных и многоканальных систем массового обслуживания на примере билетной кассы автовокзала //Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2017. – №. 1. – С. 35-38.