

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 24.04.2024 16:01:09
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра вычислительной техники

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
« 30 » 2022 г.



Математические методы построения инфокоммуникационных сетей и систем

Методические указания к лабораторным работам
для студентов направления подготовки
09.04.01 очной формы обучения

УДК 001.89

Составители: Д.В. Быков, А.В. Киселев, Е.А. Кулешова

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *Т.Н. Конаныхина*

Математические методы построения инфокоммуникационных сетей и систем: методические указания к лабораторным работам для студентов направления подготовки 09.04.01 очной формы обучения / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.; Д.В. Быков, А.В. Киселев, Е.А. Кулешова. – Курск, 2022. - 15 с.: - ил. 2.– Библиогр.: с. 14.

В методических указаниях рассмотрены сведения о построении сетей массового обслуживания, а также подходах к формализации систем телетрафика в виде сетей массового обслуживания.

Предназначены для студентов направления подготовки 09.04.01 очной формы обучения.

Методические указания соответствуют рабочей программе дисциплины «Математические методы построения инфокоммуникационных сетей и систем».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60*84 1/16.
Усл. печ. л. 2,85. Уч.-изд. л. 2,58. Тираж 50 экз. Заказ . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

1. РАСЧЕТ СЕТЕЙ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ. ТОРЕТИЧЕСКИЙ МИНИМУМ

1.1. Основные положения теории сетей массового обслуживания

Сеть массового обслуживания (СеМО) представляет собой совокупность конечного числа центров обслуживания, в которой циркулируют заявки, переходящие в соответствии с маршрутной матрицей из одного центра в другой. Центры сети являются системами массового обслуживания и отображают функционально самостоятельные части моделируемой системы, а связи между ними – структуру системы. В общем случае, центр состоит из A одинаковых обслуживающих приборов ($0 \leq A \leq \infty$) и буфера (очереди ожидания) объемом C ($0 \leq C \leq \infty$).

Переход заявки из одного центра после окончания обслуживания в нем в другой осуществляется в соответствии с заданным маршрутом, под которым понимается последовательность посещаемых заявкой центров сети [19, 20]. Маршрут заявки по СеМО задается матрицей переходных вероятностей P , вид которой зависит от того, является ли сеть МО открытой или замкнутой. В открытую сеть сообщения поступают из внешнего источника и могут покинуть сеть после окончания обслуживания. В замкнутой сети число сообщений не меняется, они не покидают сеть. Если принять внешний источник за новый центр сети и обозначить индексом 0, то маршрут в открытой сети задается стохастической неразложимой матрицей $P = \|P_{ij}\|$, где P_{0j} и P_{j0} – соответственно вероятность поступления в j -й центр заявки из источника и вероятность покидания заявкой сети после окончания обслуживания в j -ом центре; P_{ij} – вероятность того, что заявка, уходящая из i -го центра, перейдет в j -й центр ($i, j = \overline{1, R}$), R – количество центров сети. Очевидно, что выполняется равенство:

$$\sum_{j=0}^R P_{ij} = 1, \quad i = \overline{0, R}, \quad P_{00} = 0 \quad (1.1)$$

Описание первых подходов к анализу сетей массового обслуживания было дано в работах Джексона [11, 9], где были рассмотрены **однородные разомкнутые** СеМО с пуассоновскими входящими потоками, экспоненциальными распределениями

длительности обслуживания в центрах и дисциплинами обслуживания FCFS (в порядке поступления) на узлах типа M/M/m.

Функционирование такой сети описывается процессом гибели и размножения. В результате решения системы линейных уравнений, называемых уравнениями баланса [26, 18, 19], получено равновесное совместное распределение количества заявок в центрах $P(n_1, n_2, \dots, n_R)$ (т. е. вероятность того, что в первом центре находится n_1 заявок, на втором — n_2 и т. д., всего R узлов) в виде произведения маргинальных распределений, известное под названием теоремы разложения Джексона:

$$P(n_1, n_2, \dots, n_R) = \prod_{i=1}^R P_i(n_i), \quad (1.2)$$

где $P_i(n_i)$ — стационарная вероятность того, что в i -м центре, рассматриваемом изолированно, находится n_i сообщений.

Хорошо известно обобщение Гордона и Ньюэла результата (1.2) на случай **однородных замкнутых** сетей [9], которые отличаются от разомкнутых тем, что в них отсутствуют внешние поступления заявок и уходы их из сети.

В этом случае вид формулы (1.2) остается прежним, но в нее должна входить нормировочная константа G , которая должна обеспечивать выполнение равенства единице суммы вероятностей состояний сети при условии, что сеть содержит ровно N заявок:

$$P(n_1, n_2, \dots, n_R) = \frac{1}{G} \prod_{i=1}^R Z_i(n_i), \quad (1.3)$$

где введено обозначение:

$$Z_i(n_i) = \frac{e_i^{n_i}}{\prod_{j=1}^{n_i} \mu_i(j)}, \quad (1.4)$$

Выражения (1.2), (1.3) позволяют получить для **открытых и замкнутых** экспоненциальных сетей решение в мультипликативной форме, допускающей декомпозицию сети на изолированные центры.

Для определения потоков, циркулирующих в стационарном режиме в **открытой** сети МО, введем коэффициенты передачи e_i , такие, что $\lambda(N)e_i$ представляет собой общую интенсивность потока сообщений в i -й центр сети ($i = \overline{1, R}$):

$$\lambda_i(N) = e_i \lambda(N), \quad i = \overline{1, R} \quad (1.5)$$

В **открытых** СеМО интенсивность λ_i складывается из интенсивности поступления сообщений в i -й центр из источника и интенсивности поступления из других центров [19, 18]:

$$e_i = P_{oi} + \sum_{j=1}^R P_{ji} e_j, \quad i = \overline{1, R} \quad (1.6)$$

Для **замкнутых** сетей исключается поток от внешнего источника и система уравнений (1.6) преобразуется к виду

$$e_i = \sum_{j=1}^R P_{ji} e_j, \quad i = \overline{1, R} \quad (1.7)$$

Для отыскания однозначного решения системы уравнений (1.7) достаточно произвольно задать значение e_i , например, положить $e_1 = 1$. В этом случае величину e_i можно интерпретировать как среднее число посещений центра i между двумя последовательными посещениями им первого центра.

1.2. Расчет замкнутой сети массового обслуживания

Предположения об экспоненциальном распределении времени обслуживания в центрах и о дисциплине FCFS в реальных системах выполняются далеко не всегда. Однако, в ряде случаев, когда порядок обслуживания отличен от FCFS, а распределение длительности обслуживания не является экспоненциальным, основной результат Джексона (1.2) остается справедливым [17, 18, 26].

В соответствии с результатом, известным как теорема ВСМР [1], мультипликативное свойство решений (1.2) и (1.3) для $P(n_1, n_2, \dots, n_R)$ сохраняется для СеМО, содержащих следующие узлы:

- а) M/M/m с дисциплиной FCFS;
- б) M/G/1 с дисциплиной PS (разделение процессора);
- в) M/G/ ∞ с обслуживанием без ожидания (IS узлы);
- г) M/G/1 с дисциплиной LCFS с прерываниями.

Указанные системы обслуживания обладают тем свойством, что выходящий поток обслуженных требований в стационарном режиме является пуассоновским. Для систем а) и б) этот факт установлен Бэрком, Рейчем и Дубом [3, 14]. Для систем в) и г) данное свойство выходящего потока доказано разными методами в [5, 13, 21].

При этом множители $Z_i(n_i)$, входящие в (1.3), имеют вид:

$$Z_i(n_i) = \frac{i^{n_i} n_i!}{\mu_i^{n_i}} \prod_{h=1}^H \frac{\rho_h^{n_{ih}}}{n_{ih}!} \text{ для центров с дисциплиной FCFS,} \quad (1.8)$$

$$Z_i(n_i) = \prod_{h=1}^H \frac{1}{n_{ih}!} \left(\frac{i \rho_h}{\mu_{ih}} \right)^{n_{ih}} \text{ для центров с дисциплиной IS,} \quad (1.9)$$

$$Z_i(n_i) = n_i! \prod_{h=1}^H \frac{1}{n_{ih}!} \left(\frac{i \rho_h}{\mu_{ih}} \right)^{n_{ih}} \text{ для центров с дисциплинами PS и} \quad (1.10)$$

LCFC,

где $n_i = \sum_{h=1}^H n_{ih}$, $i = \overline{1, R}$, H – количество классов сообщений, R – количество центров сети.

Если нормировочная константа G определена, то не составляет трудности получение основных характеристик СеМО – маргинальных распределений числа заявок в центрах, средних длин очередей и времен ожиданий, пропускной способности сети и т.д.

2. ПРИМЕР ФОРМАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕЛЕТРАФИКА В ВИДЕ СЕТИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

2.1. Модель конфиденциального хранилища электронных документов

С учетом особенностей структуры и процессов функционирования КХЭД, его работа может быть формализована в виде разомкнутой СеМО с блокировками и отказами. Для исследования КХЭД предлагается сеть массового обслуживания, формализующая функционирование конфиденциального хранилища ЭД (рис. 2.1).

S_1 – центр, формализующий работу модуля TCP операционной системы сервера приложений на этапе установления соединения. K – число обслуживающих каналов, очередь отсутствует. В нем обрабатываются заявки клиентов на этапе установления соединения при осуществлении так называемого трехэтапного рукопожатия (three-way-handshake). Длительность обслуживания заявки каналом в данном центре равна времени «оборота» TCP сегмента RTT (Round Trip Time), т.е. времени прохождения его от сервера к клиенту и времени получения подтверждения на этот сегмент. Если в момент поступления сообщения в центр все K каналов заняты, то сообщение теряется, вероятность это

события равна P_B . Время пребывания сообщений в данном центре ограничено допустимым временем установления соединения и, при превышении данного времени, сообщения теряются с вероятностью P_{TO} . Дисциплина обслуживания в центре IS.

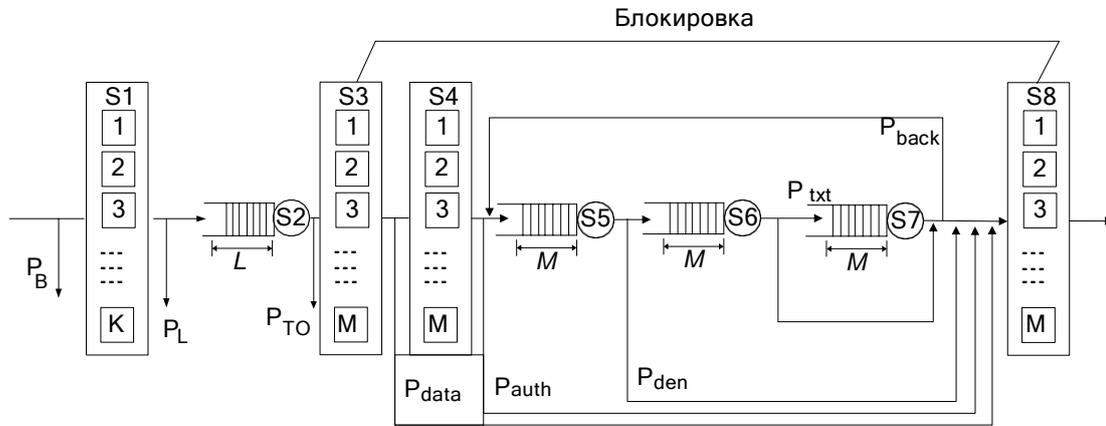


Рис. 2.1. Сеть массового обслуживания, формализующая работу конфиденциального хранилища ЭД

S2 – основной поток приложения сервера, извлекающего сообщения из очереди на установление соединения. Максимальная длина очереди L к центру задается в серверном приложении и, если при поступлении сообщения все L мест очереди заняты, то она теряется с вероятностью P_L . Дисциплина обслуживания в центре FCFS.

S3 – параллельные потоки сервера, обеспечивающие одновременное обслуживание соединений на этапе получения запросов по сети. Соответствует процессу передачи сообщения клиентом, а также передачи сегмента с подтверждением о получении сообщения. На данном этапе сообщение передается модулю аутентификации для обработки. Дисциплина обслуживания в центре IS.

Центры S3 и S8 имеют по M каналов обслуживания (потоков сервера) и при начале обслуживания сообщения в i -ом канале центра S3 он считается занятым до завершения обслуживания в i -ом канале центра S8. Таким образом, происходит блокировка каналов центров S3 и S8 и поэтому потерь сообщений из-за переполнения очереди к центрам S5, S6, S7 и занятости всех обслуживающих устройств центра S4 не происходит, т.к. больше чем M сообщений в центрах S4, S5, S6, S7 быть не может.

Времена пребывания сообщений в центрах S3 и S8 складываются из суммы времен передачи запроса от клиента и ответа сервера по каналам связи соответственно, и ожидания подтверждений на

переданные данные. Минимальное время обработки сообщения (и запрос, и ответ помещаются в один стандартный TCP сегмент) в центре S3 равно RTT, в центре S8 – половине RTT. В общем случае, если запрос не удастся передать в одном TCP сегменте (стандартно вмещает 1460 байт полезной информации), необходимо дополнительно учесть время на отправку полного запроса клиенту серверу (центр S3) и время отправки ответа сервера клиенту (центр S8).

Если сообщение, обслуживание которой завершилось в центре S2, застаёт все M каналов центра S3 занятыми, оно блокируется и ожидает освобождения канала обслуживания в S3 в течение допустимого времени ожидания, при превышении которого сообщение теряется. Таким образом, время пребывания сообщений в центре S2 складывается из времени обслуживания, времени блокировки и времени ожидания в очереди. В случае возникновения ошибки в формате данных запросов с вероятностью P_{data} после обработки в центре S3, сообщения попадают в центр S8, где формируются ответы сервера, содержащие данные об ошибке.

S4 – модуль аутентификации клиентов при обращении к хранилищу ЭД. Детали процесса аутентификации были рассмотрены ранее. Время пребывания сообщения в центре равно времени прохождения аутентификации пользователя по протоколу TLS. В случае если аутентификация была неудачна (вследствие недействительных сертификатов, ошибок при работе протокола TLS) клиенту отправляется ответ с отказом в доступе к КХЭД. Вероятность этого события – P_{auth} . Время пребывания сообщения в центре рассчитывается по формуле

$$10*RTT + 2* T_{OCSP} + 48/c_{asym} + 500/c_{sym} + T_s, \quad (2.1)$$

где

- T_{OCSP} – время проверки статуса сертификата по протоколу OCSP;
- c_{sym} – скорость симметричного шифрования и дешифрования;
- c_{asym} – скорость асимметричного шифрования и дешифрования;
- T_s – время простановки ЭЦП.

Дисциплина обслуживания в центре IS.

S5 – модуль, формализующий процесс проверки прав доступа клиентов при обращении к хранилищу ЭД. Логика работы данного модуля требует выполнения криптографических операций, связанных с шифрованием и ЭЦП. В случае если клиент не обладает достаточными

правами для работы с хранилищем, ему отправляется ответ с отказом в доступе. Вероятность этого события – P_{den} . Время пребывания сообщения в центре рассчитывается по формуле

$$\begin{aligned} & (100/c_{asym} + T_v) + (100/c_{asym} + T_s) + (100/c_{sym} + T_v) + \\ & (100/c_{sym} + T_s) + 0,15 = \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$= 200/c_{asym} + 200000/c_{sym} + 2 T_v + 2 T_s + 0,15 \text{ с}$$

При прохождении процедуры проверки прав пользователей будем принимать во внимание следующие параметры:

- c_{asym} – скорость асимметричного шифрования и дешифрования;
- c_{sym} – скорость симметричного шифрования и дешифрования;
- T_s – время простановки ЭЦП.
- T_v – время проверки ЭЦП;
- T_{add} – время проведения вспомогательных операций.

Дисциплина обслуживания в центре FCFS.

В случае удачной аутентификации и проверки прав доступа клиента производится поиск ЭД по запросу пользователей и выполнение операций по контролю целостности информации, проверке и простановки ЭЦП, шифрованию и дешифрованию. Для формализации процесса индексного поиска и полнотекстового поиска отдельно выделены центры S6 и S7 соответственно. В связи с необходимостью выполнения трудоемких криптографических операций в процессе поиска, эти процессы формализуются в виде однолинейных центров с дисциплиной обслуживания FCFS, и длинами очередей равной M , где M – количество каналов обслуживания в центрах S3 и S8, т.е. максимальное количество потоков сервера приложений, обеспечивающих одновременное обслуживание соединений с пользователями. Время обслуживания в данных центрах рассчитывается по формулам:

$$\begin{aligned} & T_{search} + T_v + T_v + Size_{doc}/c_{sym} + T_v + T_s + T_{TSP} + T_{OCSP} + \\ & + Size_{doc}/c_{sym} + T_s + T_s + P_{get} * Size_{doc}/c_{sym} = \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$= T_{search} + 3T_v + 3T_s + (2+P_{get}) * Size_{doc}/c_{sym} + T_{TSP} + T_{OCSP}.$$

Будем принимать во внимание следующие параметры:

- T_{search} – время индексного поиска электронного документа;
- T_{OCSP} – время проверки статуса сертификата по протоколу OCSP;
- T_{TSP} – длительность простановки метки времени;

- c_{asym} – скорость асимметричного шифрования и дешифрования;
- c_{sym} – скорость симметричного шифрования и дешифрования;
- T_s – время простановки ЭЦП;
- T_v – время проверки ЭЦП;
- $Size_{doc}$ – размер электронного документа.

$$(T_{search_doc} + T_v + Size_{doc} / c_{sym}) N_{doc}. \quad (2.4)$$

Будем принимать во внимание следующие параметры:

- T_{search_doc} – время поиска в документе;
- c_{sym} – скорость симметричного шифрования и дешифрования;
- T_v – время проверки ЭЦП;
- N_{doc} – количество ЭД, в которых осуществляется полнотекстовый поиск;
- $Size_{doc}$ – размер электронного документа.

Полнотекстовый поиск производится с вероятностью P_{txt} .

После обслуживания запроса пользователя в центрах S6 и S7 возможен повторный запрос на доступ к ЭД без прохождения аутентификации, в связи с чем предусмотрен переход к центру S5 с вероятностью P_{back} .

После того, как запрос пользователя выполнен, происходит передача ответа пользователю в многолинейном центре обслуживания S8. Дополнительно к ответу может прикрепляться найденный документ (в случае удачного поиска), вероятность этого события – $(1 - P_{data})(1 - P_{auth})(1 - P_{den}) P_{get}$. Время обслуживания в данном центре принимается равным времени передачи ответа пользователю по каналу связи, защищенному протоколом TLS. Дисциплина обслуживания в центре IS.

Для рассматриваемой сети ненулевые вероятности переходов заявок между центрами (элементы матрицы переходных вероятностей) имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} P[S_i \rightarrow S_1] &= 1 - P_B, & P[S_1 \rightarrow S_2] &= (1 - P_{To})(1 - P_L), \\ P[S_3 \rightarrow S_4] &= 1 - P_{data}, & P[S_3 \rightarrow S_8] &= P_{data}, \\ P[S_4 \rightarrow S_5] &= 1 - P_{auth}, & P[S_4 \rightarrow S_8] &= P_{auth}, \\ P[S_5 \rightarrow S_6] &= 1 - P_{den}, & P[S_5 \rightarrow S_8] &= P_{den}, \\ P[S_6 \rightarrow S_7] &= P_{txt}, & P[S_6 \rightarrow S_5] &= (1 - P_{txt}) P_{back}, & P[S_6 \rightarrow S_8] &= 1 - P_{txt}, \\ P[S_7 \rightarrow S_8] &= 1 - P_{back}, & P[S_7 \rightarrow S_5] &= P_{back}, \end{aligned}$$

$$P[S_8 \rightarrow S_s] = 1,$$

$$P[S_i \rightarrow S_s] = P_B, P[S_1 \rightarrow S_s] = 1 - (1 - P_{TO})(1 - P_L),$$

где S_i - источник, а S_s - сток СеМО.

Для исследования разработанной модели СеМО аналитическими методами необходимо ввести ряд допущений:

- 1) входящий поток заявок должен быть пуассоновским;
- 2) каждый центр сети может быть представлен одним из четырех типов СМО, указанных в разделе 1.2 (для метода MVA) или центром типа FCFS (для метода Бузена);
- 3) распределение длительности обслуживания сообщений в центрах сети является экспоненциальным в центрах с дисциплиной обслуживания FCFS, либо общего вида для центров с дисциплинами IS, PS и LCFC;
- 4) длины очередей в центрах сети не ограничены;
- 5) количество классов сообщений равно 1;
- 6) количество обслуживающих приборов в многолинейных центрах не ограничено.

Необходимо отметить, что использование имитационного моделирования позволяет снять все эти ограничения.

Для учета особенностей работы описанных аналитических методов расчета, разомкнутую СеМО, формализующую функционирование КХЭД преобразуем к замкнутой. В полученной замкнутой СеМО заявки извне не поступают и не покидают сеть; количество заявок, циркулирующих в них постоянно и равно количеству конечных пользователей N .

Кроме того, в связи с указанными выше допущениями в аналитической модели СеМО будут отсутствовать потери заявок, и невозможен учет эффекта блокировок центров обслуживания.

В силу сделанных предположений структура замкнутой СеМО, формализующей функционирование конфиденциального хранилища ЭД будет выглядеть в соответствии с рис. 2.2.

Обозначим через вектор $n = (n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6, n_7, n_8)$ состояние данной СеМО. Здесь n_i ($i = \overline{1,8}$) – число сообщений в i -ом центре. Через μ_i обозначим интенсивность обслуживания в i -м центре, тогда:

$$\mu_1 = n_1 / RTT,$$

$$\mu_2 = 1/T_a,$$

$$\mu_3 = \frac{n_3}{\frac{Size_{Req}}{b} + RTT + T_{route}} = \frac{bn_3}{Size_{Req} + bRTT + bT_{route}},$$

$$\mu_4 = n_4 / (10*RTT + 2* T_{OCSP} + 48/c_{asym} + 500/c_{sym} + T_s),$$

$$\mu_5 = n_5 / (200/c_{asym} + 200/c_{sym} + 2 T_v + 2T_s + T_{add}),$$

$$\mu_6 = n_6 / (T_{search} + 3T_v + 3T_s + (2+P_{get})*Size_{doc}/c_{sym} + T_{TSP} + T_{OCSP}),$$

$$\mu_7 = n_7 / (T_{search} + 3T_v + 3T_s + (2+P_{get})*Size_{doc}/c_{sym} + T_{TSP} + T_{OCSP} + (T_{search_doc} + T_v + Size_{doc}/c_{sym}) N_{doc}),$$

$$\mu_8 = \frac{n_8}{\frac{Size_{Resp} + (1 - P_{data})(1 - P_{auth})(1 - P_{den}) P_{get} * Size_{doc}}{b} + \frac{RTT}{2} + T_{route}}.$$

где RTT – время “оборота” TCP пакета, T_a - время извлечения заявки из очереди на обслуживание и создания дочернего потока серверным приложением, T_{OCSP} – время проверки статуса сертификата по протоколу OCSP, c_{sym} – скорость симметричного шифрования и дешифрования, c_{asym} – скорость асимметричного шифрования и дешифрования, T_s – время простановки ЭЦП, T_v – время проверки ЭЦП, T_{search} – время индексного поиска электронного документа, T_{TSP} – длительность простановки метки времени, $Size_{doc}$ – размер электронного документа, N_{doc} – количество ЭД, в которых осуществляется полнотекстовый поиск, T_{search_doc} – время поиска в документе, $Size_{Req}$ – размер запроса клиента, $Size_{Resp}$ – размер ответа серверного приложения, b – скорость передачи данных в канале связи, защищенному протоколом TLS, T_{add} – время проведения вспомогательных операций.

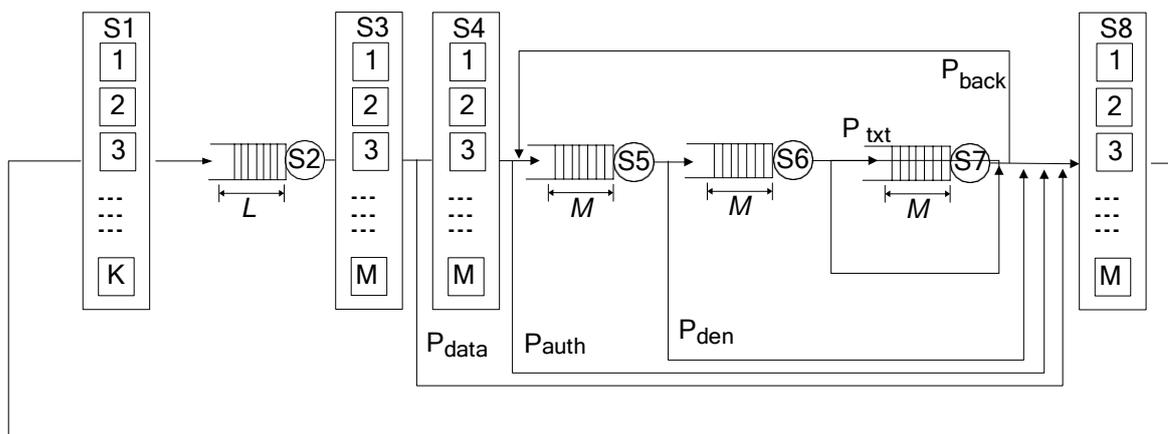


Рис. 2.2. Структура замкнутой CeMO конфиденциального хранилища ЭД

Ненулевые вероятности переходов заявок между центрами следующие:

$$P[S1 \rightarrow S2] = 1,$$

$$P[S2 \rightarrow S3] = 1,$$

$$P[S3 \rightarrow S4] = 1 - P_{data}, \quad P[S3 \rightarrow S8] = P_{data},$$

$$P[S4 \rightarrow S5] = 1 - P_{auth}, \quad P[S4 \rightarrow S8] = P_{auth},$$

$$P[S5 \rightarrow S6] = 1 - P_{den}, \quad P[S5 \rightarrow S8] = P_{den},$$

$$P[S6 \rightarrow S7] = 1 - P_{txt}, \quad P[S6 \rightarrow S5] = (1 - P_{txt}) P_{back}, \quad P[S6 \rightarrow S8] = P_{txt},$$

$$P[S7 \rightarrow S8] = 1 - P_{back}, \quad P[S7 \rightarrow S5] = P_{back},$$

$$P[S8 \rightarrow S1] = 1,$$

Здесь S1, S3, S4 и S8 - IS центры, центры S2, S6, S7 - центр M/M/1 с дисциплиной обслуживания FCFS, S5 - M/G/1 с дисциплиной PS.

3. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Создать сеть массового обслуживания из 6-8 центров и произвести расчет ее основных параметров.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные отличия разомкнутых и замкнутых сетей массового обслуживания?
2. Для чего нужна нормировочная константа?
3. Для чего вводится коэффициент передачи?
4. Какие основные узлы применяются при построении CeMO в соответствии с теоремой ВСМР?
5. Каким требованиям должны подчиняться значения вероятностей переходов между узлами для замкнутой и разомкнутой CeMO?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Baskett F., Chandy K. M., Muntz R. R., Palacios F. Open, closed and mixed networks of queues with different classes of customers. *Journal of the ACM*, 1975, v. 22, N 2, p. 248—260.
2. Benjamin Lee, «An Architectural Assessment of SPEC CPU Benchmark Relevance», Harvard University, Cambridge, MA, Tech.Rep. TR-02-06, 2006.
3. Burke P. J. Output Processes and Tandem Queues // Proc. 22-nd Int. Symp. on Computer-Commun. Networks and Teletraffic / Ed. J. Fox. — New York: Polytech. Inst. Brooklyn, 1972.— P. 419—428.
4. Buzen J. P. Computational algorithms for closed queuing networks with exponential servers. *Communications of the AOM*, 1973, v. /16, N 9, p. 527—531.
5. Cohen J. W. The Multiple Phase Service Network with Generalized Processor-Sharing // *Acta Informatica*. — 1979. — Vol. 12, No. 3. — P. 245—284.
6. Control Objectives for Information and related Technology (COBIT). [Электронный ресурс]. — 2007. — Режим доступа: <http://www.isaca.org/>
7. D. Chandra, F. Guo, S. Kim, and Y. Solihin, “Predicting Inter-Thread Cache Contention on a Multi-Processor Architecture”, In Proc. Of 11th Int’l. Symposium on High-Performance Computer Architecture, pp. 340-351, 2005.
8. Decision Support System Consulting [Электронный ресурс]. — 2009. — Режим доступа: <http://www.dssconsulting.ru/services/marketing/analytics/?id=51>.
9. Gordon W. J., Newell G. F. Closed queuing systems with exponential servers. *Operations Research*, 1967, v. 15, N2, p. 254—265.
10. J. Hillston, Fluid flow approximation of PEPA models, in: *Proceedings of QEST’05*, pp. 33-43, IEEE Computer Society, 2005.
11. Jackson J. R. Networks of waiting lines. *Operations Research*, 1957, v. 5, N 4, p. 518—521.
12. Jackson J. R, Jobshop — like queuing systems. *Management Science*, 1963, v. 10, N 2, p. 131—142.

13. Kelly F. P. Reversibility and Stochastic Networks. — New York: Wiley, 1979. — 230 p.
14. Reich E. Departure Processes // Proc. Symp. on Congestion Theory / Eds. W. Smith, W. E. Wilkinson. — Chapel Hill: Univ. North Carolina Press, 1965.—P. 439—457.
15. Reiser M. Mean-value analysis and convolution method for queue-dependent servers in closed queuing networks. Performance Evaluation, 1981, v. 1, N 1, p. 7—18.
16. Reiser M., Lavenberg S. S. Mean-value analysis of closed multichain queuing networks. J. of the ACM, 1980, v. 27, N 2, p. 313 - 322.
17. Башарин Г. П., Бочаров П. П., Коган Я. А. Анализ очередей в вычислительных сетях. Теория и методы расчета. - М.: Наука, 1989 - 336 с.
18. Вишнеvский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512с.
19. Жожикашвили В.А., Вишнеvский В.М. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1989. – 192 с.
20. Ивницкий В.А., Теория сетей массового обслуживания. – М.:Физматлит, 2004. - 770 стр.
21. Китаев М. Ю., Яшков С. Ф. Анализ одноканальной системы обслуживания с дисциплиной равномерного разделения прибора // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, - 1979. - № 6. с. 64 - 71.
22. Клейнрок Л. Коммуникационные сети. Стохастические потоки и задержки сообщений. – М.: Наука, 1970, 256 с.
23. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. М.: Мир, 1979. – 600 с.
24. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979. — 432 с.
25. Саульев В.К. Математические методы теории массового обслуживания. - М.: Статистика, 1979.
26. Яшков С.Ф. Анализ очередей в ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1989. – 216 с.