

# ОРГАНИЗАЦИЯ МЕЖПРОЦЕССНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА С ПОМОЩЬЮ ОЧЕРЕДИ СООБЩЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИИ «КЛИЕНТ-СЕРВЕР»

Цуканова О.Г.

Кафедра ПМИИ, ДонГТУ

## Abstract

*Tsukanova O. Organization of interprocess information communication with messages queue in "client-server" technology. The mathematical model of functioning of queue of messages, as method of interprocess communication in model of 'client-sever' has worked out. Model has received for stationary conditions. Setting different initial conditions for queue of messages, characteristics of its functioning for different entrance data has received. It let us to work out general recommendation of using the queue of messages. The model is built purposely to get comparative characteristics of functioning of queue of messages and common segments of operational memory in "client-server" technology and automation of a choice of interprocess communication means by system itself.*

## Введение

Технология «клиент-сервер» в наши дни является одной из основных компонент передовых компьютерных технологий. На основании этой модели возможно построение любых сколь угодно сложных систем. Эта технология широко используется во всем мире для разработки СУБД, коммуникационных и банковских систем, систем электронной почты и множества других областей.

Операционная система UNIX является для разработчиков программного обеспечения идеальным средством, поскольку в своей основе наиболее полно отвечает технологии «клиент-сервер». Для организации информационного обмена между клиентами и сервером необходима двунаправленная связь. Программные каналы для этого не годятся, так как в их основе лежит потоковая модель передачи данных, следовательно, необходимо устанавливать дополнительные соглашения для идентификации сообщений. Выбор из канала осуществляется только по дисциплине FIFO, что также сужает область их использования. Для информационного обмена между сервером и клиентами необходимо использовать либо очередь сообщений, либо общие сегменты оперативной памяти. Выбор того или иного средства коммуникации полностью ложится на программиста и зависит от его опыта, интуиции и предпочтений. С другой стороны, функционирование вышеупомянутых средств коммуникации может быть описано как система массового обслуживания в терминах случайных процессов. Это позволит рассчитывать характеристики качества функционирования каждого средства в зависимости от планируемых входных параметров и выработать обоснованные рекомендации по использованию того или иного средства коммуникации, а в дальнейшем автоматизировать выбор средства межпроцессной коммуникации самой системой, что освободит этот аспект программирования от субъективного фактора.

## 1. Вероятностная модель функционирования очереди сообщений

Моделируется технология клиент-сервер, а именно: несколько процессов-клиентов посылают сообщения-запросы одному процессу-серверу через обменник. Процесс-сервер забирает очередное сообщение-запрос, обрабатывает его и записывает сообщение-ответ. Один из клиентов, ожидающих ответ, обязательно опознает его и

считает. Клиент формирует новый запрос только тогда, когда считает ответ на предыдущий. Одновременный доступ к обменнику имеет только один процесс. Будем считать, что сервер имеет приоритет. Условимся также, что для клиентов преимущество имеет операция чтения ответов. Для других приоритетов модель строится аналогично.

Модель строится на основе вложенного процесса Маркова по моментам завершения операций чтения-записи в очередь сообщений.

В качестве вектора состояния системы выберем  $(n_{co}, n_{cs}, n_k, s)$ , где  $n_{co}$  – количество сообщений-ответов в обменнике;  $n_{cs}$  – количество сообщений-запросов в обменнике;  $n_k$  – количество клиентов, ожидающих доступ к обменнику для записи запроса;  $s$  – состояние сервера. Состояние сервера будем обозначать следующими величинами: 0 – сервер свободен, 1 – сервер закончил обработку сообщения и требует доступа к обменнику, 2 – сервер занят обработкой запроса и в данный момент на доступ к ящику не претендует. Стационарную вероятность состояния  $(n_{co}, n_{cs}, n_k, s)$  будем обозначать  $\pi(n_{co}, n_{cs}, n_k, s)$ .

Введем обозначения и определения, используемые далее при построении модели. Пусть  $N$  – количество клиентов,  $X_3$  – максимальная длина сообщения-запроса,  $X_0$  – максимальная длина сообщения-ответа. Промежутки времени между обращениями процессов-клиентов к очереди сообщений будем считать распределенной экспоненциально с параметром  $\lambda$ . Производительность сервера будем считать экспоненциально распределенной с параметром  $\mu$ . Обозначим также  $\beta_3(x), \beta_0(x)$  – функции плотности распределения длин сообщений-запросов и длин сообщений-ответов соответственно. Будем считать, что времена затрачиваемые на операции чтения из обменника и записи в обменник прямо пропорциональны длине сообщения с коэффициентами пропорциональности  $c_1$  для чтения и  $c_2$  для записи.

В текущий контрольный момент могла завершиться одна из четырех операций: запись клиентом сообщения-запроса, чтение клиентом сообщения-ответа, чтение сообщения-запроса сервером и запись сервером сообщения-ответа. Обозначим текущее состояние системы  $(n_{co}, n_{cs}, n_k, s)$ , а предыдущее  $(n_{co}', n_{cs}', n_k', s')$  и рассмотрим все возможные варианты переходов  $(n_{co}', n_{cs}', n_k', s') \rightarrow (n_{co}, n_{cs}, n_k, s)$  и вероятности этих переходов.

Начнем с рассмотрения случаев, когда клиент записал сообщение. В этом случае сервер не должен претендовать на доступ к обменнику ( $s=0$  или  $s=2$ ) и сообщений-ответов в нем быть не должно ( $n_{co}=0$ ).

Клиент мог записать сообщение, если сервер был свободен ( $s'=0$ ), читать ему было нечего ( $n_{cs}'=0$ ) и доступ к ящику для записи требовал хотя бы один клиент ( $n_k' \geq 1$ ). Необходимо найти вероятность перехода  $(0, 0, n_k', 0) \rightarrow (0, 1, n_k, 0)$ . Пусть  $t$  – время записи сообщения-запроса. До начала записи было активно  $N-n_k'$  клиентов, из них  $(n_k-n_k')$  запросили доступ к ящику,  $(N-n_k)$  – не запросили, следовательно в компоненте вероятности перехода должен быть сомножитель

$$Q_1 = C_{N-n_k}^{n_k-n_k'} \cdot (1 - e^{-\lambda t})^{n_k-n_k'} \cdot e^{-\lambda t(N-n_k)}$$

сообщения)  $0 < t \leq c_2 \cdot X_3$ , Получаем  $P_1 = \int_0^{X_3} Q_1 \cdot \beta_1(x) dx$ . Следовательно

$$\pi(0, 1, n_k, 0) = \sum_{n_k'=1}^{n_k+1} \pi(0, 0, n_k', 0) \cdot P_1, \text{ где } 0 \leq n_k \leq N-1.$$

Клиент мог записать сообщение, если сервер был свободен ( $s=0$ ), читать ему было нечего ( $n_{co}=0$ ), но ни один клиент доступ к ящику для записи не требовал. Ищем вероятность перехода  $(0, 0, 0, 0) \rightarrow (0, 1, n_k, 0)$ . В этом случае начнется период простоя

до тех пор, пока не появится хотя бы один клиент, желающий записать сообщение-запрос.

$$Q_2 = \int_0^{\infty} C_{N-1}^{n_k} \cdot N \cdot \lambda e^{-\lambda z} \cdot (1 - e^{-\lambda t})^{n_k} \cdot e^{-\lambda(t+z)(N-1-n_k)} \cdot e^{-\lambda t n_k} dz,$$

$$P_2 = \int_0^{X_3} Q_2 \cdot \beta_1(x) dx \quad \text{Следовательно} \quad \pi(0, 1, n_k, 0) = \pi(0, 0, 0, 0) \cdot P_2, \quad \text{где}$$

$$0 \leq n_k \leq N-1$$

По аналогии получаем  $P_3 = \int_0^{X_3} Q_3 \cdot \beta_1(x) \cdot (1 - e^{-\mu x}) dx$ , для перехода  $(0, n_{cs}-1, n_k, 2) \rightarrow (0, n_{cs}, n_k, 1)$  и  $P_4 = \int_0^{X_3} Q_3 \cdot \beta_1(x) \cdot e^{-\mu x} dx$  для перехода  $(0, n_{cs}-1, n_k, 2) \rightarrow (0, n_{cs}, n_k, 2)$ , где  $Q_3 = C_{N-n_{cs}-n_k}^{n_k-n_k+1} \cdot (1 - e^{-\lambda t})^{(n_k-n_k+1)} \cdot e^{-\lambda t(N-n_{cs}-1-n_k)}$ .

Далее  $P_5 = \int_0^{X_3} Q_4 \cdot \beta_1(x) \cdot e^{-\mu x} dx$ , для  $(0, n_{cs}-1, 0, 2) \rightarrow (0, n_{cs}, n_k, 2)$ ;

$P_6 = \int_0^{X_3} Q_4 \cdot \beta_1(x) \cdot (1 - e^{-\mu x}) dx$ , для  $(0, n_{cs}-1, 0, 2) \rightarrow (0, n_{cs}, n_k, 1)$ , где

$$Q_4 = \int_0^{\infty} \lambda e^{-\lambda z} \cdot N \cdot Q_4 dz,$$

$$Q_4 = C_{N-1-n_{cs}}^{n_k} \cdot (1 - e^{-\lambda t})^{n_k} \cdot e^{-\lambda t n_k} \cdot e^{-\lambda(t+z)(N-1-n_{cs}-n_k)} \cdot e^{-\mu z}$$

Аналогично рассуждая, для случаев, когда клиент прочитал сообщение-ответ,

получаем  $P_7 = \int_0^{X_0} Q_5 \cdot \beta_2(x) dx$ , для перехода  $(n_{co}+1, 0, n_k, 0) \rightarrow (n_{co}, 0, n_k, 0)$ , где

$$Q_5 = C_{N-(n_{co}+1)-n_k}^{n_k-n_k} \cdot (1 - e^{-\lambda t})^{(n_k-n_k)} \cdot e^{-\lambda t(N-(n_{co}+1)-n_k)};$$

$P_8 = \int_0^{X_0} Q_6 \cdot \beta_2(x) \cdot e^{-\mu x} dx$ , для  $(n_{co}+1, n_{cs}, n_k, 2) \rightarrow (n_{co}, n_{cs}, n_k, 2)$  и

$P_9 = \int_0^{X_0} Q_6 \cdot \beta_2(x) \cdot (1 - e^{-\mu x}) dx$  для  $(n_{co}+1, n_{cs}, n_k, 2) \rightarrow (n_{co}, n_{cs}, n_k, 1)$ , где

$$Q_6 = C_{N-n_{co}-n_{cs}-n_k}^{n_k-n_k} \cdot (1 - e^{-\lambda t})^{(n_k-n_k)} \cdot e^{-\lambda t(N-n_{co}-n_{cs}-n_k)}$$

Для случая, когда сервер считал сообщение-запрос  $P_{10} = \int_0^{c_7 X_3} Q_7 \cdot \beta_1(x) dx$ ,

переход  $(n_{co}, n_{cs}+1, n_k, 0) \rightarrow (n_{co}, n_{cs}, n_k, 1)$ , где

$$Q_7 = C_{N-n_{co}-(n_{cs}+1)-n_k}^{n_k-n_k} \cdot (1 - e^{-\lambda t})^{(n_k-n_k)} \cdot e^{-\lambda t(N-n_{co}-(n_{cs}+1)-n_k)}. \quad \text{И, наконец,}$$

для случая, когда сервер записал сообщение-ответ ищем вероятность перехода

$$(n_{CO}-1, n_{C3}, n_K, 1) \rightarrow (n_{CO}, n_{C3}, n_K, 0). P_{11} = \int_0^{c_7 X_0} Q_8 \cdot \beta_2(x) dx, \text{ где}$$

$$Q_8 = C_{N-n_{CO}-n_{C3}-n_K}^{n_K-n_K} \cdot (1 - e^{-\lambda t})^{(n_K-n_K)} \cdot e^{-\lambda t(N-n_{CO}-n_{C3}-n_K)}$$
 и перехода  $(0, n_{C3}, 0, 2)$

$$\rightarrow (1, n_{C3}, n_K, 0): P_{12} = \int_0^{c_7 X_0} Q_9 \cdot \beta_2(x) dx, \text{ где } Q_9 = \int_0^{\infty} \mu e^{-\mu z} \cdot Q_9 dz,$$

$$Q_9 = C_{N-1-n_{C3}}^{n_K} \cdot (1 - e^{-\lambda t})^{n_K} \cdot e^{-\lambda t(N-1-n_{C3}-n_K)} \cdot e^{-\lambda z(N-1-n_{C3})}$$

Таким образом, окончательный вид построенной системы следующий:

$$\left\{ \begin{aligned} \pi(0, 1, n_K, 0) &= \sum_{n_K^1=1}^{n_K+1} \pi(0, 0, n_K^1, 0) \cdot P_1 + \pi(0, 0, 0, 0) \cdot P_2, 0 \leq n_K \leq N-1 \\ \pi(n_{CO}, 0, n_K, 0) &= \sum_{n_K^1=0}^{n_K} \pi(n_{CO} + 1, 0, n_K^1, 0) \cdot P_7, \\ 0 \leq n_{CO} \leq N-2, 0 \leq n_K \leq N-1-n_{CO} \\ \pi(n_{CO}, n_{C3}, n_K, 0) &= \sum_{n_K^1=0}^{n_K} \pi(n_{CO}-1, n_{C3}, n_K^1, 1) \cdot P_{11}, \\ 1 \leq n_{CO} \leq N-1, 0 \leq n_{C3} \leq N-n_{CO}, 0 \leq n_K \leq N-n_{CO}-n_{C3}, n_{CO} + n_{C3} + n_K^1 \neq N \\ \pi(0, n_{C3}, n_K, 2) &= \sum_{n_K^1=1}^{n_K+1} \pi(0, n_{C3}-1, n_K^1, 2) \cdot P_4, \\ 1 \leq n_{C3} \leq N-2, 0 \leq n_K \leq N-1-n_{C3} \\ \pi(0, n_{C3}, n_K, 2) &= \pi(0, n_{C3}-1, 0, 2) \cdot P_5, 1 \leq n_{C3} \leq N-2, 0 \leq n_K \leq N-1-n_{C3} \\ \pi(n_{CO}, n_{C3}, n_K, 2) &= \sum_{n_K^1=0}^{n_K} \pi(n_{CO} + 1, n_{C3}, n_K^1, 2) \cdot P_8, \\ 0 \leq n_{CO} \leq N-2, 0 \leq n_{C3} \leq N-2-n_{CO}, 0 \leq n_K \leq N-2-n_{CO}-n_{C3} \\ \pi(n_{CO}, n_{C3}, n_K, 2) &= \sum_{n_K^1=0}^{n_K} \pi(n_{CO}, n_{C3} + 1, n_K^1, 0) \cdot P_{10}, \\ 0 \leq n_{CO} \leq N-2, 0 \leq n_{C3} \leq N-1-n_{CO}, 0 \leq n_K \leq N-1-n_{CO}-n_{C3} \\ \pi(0, n_{C3}, n_K, 1) &= \sum_{n_K^1=0}^{n_K+1} \pi(0, n_{C3}-1, n_K^1, 2) \cdot P_3, \\ 1 \leq n_{C3} \leq N-1, 0 \leq n_K \leq N-1-n_{C3} \\ \pi(0, n_{C3}, n_K, 1) &= \pi(0, n_{C3}-1, 0, 2) \cdot P_6, \\ 1 \leq n_{C3} \leq N-1, 0 \leq n_K \leq N-1-n_{C3} \\ \pi(n_{CO}, n_{C3}, n_K, 1) &= \sum_{n_K^1=0}^{n_K} \pi(n_{CO} + 1, n_{C3}, n_K^1, 2) \cdot P_9, \\ 0 \leq n_{CO} \leq N-2, 0 \leq n_{C3} \leq 1, 0 \leq n_K \leq N-2-n_{CO}-n_{C3} \\ \pi(0, N-1, 0, 1) &= \pi(0, N-2, 1, 2) \cdot P_4 \\ \pi(0, N-1, 0, 1) &= \pi(0, N-2, 0, 2) \cdot P_5 \\ \pi(1, n_{C3}, n_K, 0) &= \pi(0, n_{C3}, 0, 2) \cdot P_{12}, \\ 0 \leq n_{C3} \leq N-1, 0 \leq n_K \leq N-1-n_{C3} \end{aligned} \right.$$

## **2. Анализ функционирования очереди сообщений как средства межпроцессного взаимодействия для технологии «клиент-сервер»**

В качестве показателей функционирования обменника, которые могут быть рассчитаны по найденному из системы уравнений вектору стационарных вероятностей, были взяты следующие: среднее число сообщений-ответов в системе; среднее число сообщений-запросов в системе; средняя длина очереди клиентов, требующих доступ к ящику, чтобы записать сообщение-запрос; среднее число неактивных клиентов в системе (клиентов, стоящих в очереди, чтобы записать сообщение-запрос и клиентов, уже записавших сообщение-запрос, но еще не считавших сообщение-ответ); оценка, времени которое клиент проводит в неактивном состоянии (стоит в очереди на запись, записывает сообщение-запрос, ждет, когда сервер считает, обрабатывает его запрос и запишет сообщение-ответ, ждет, когда можно будет считать свой ответ и читает его); вероятность того, что сервер простаивает; средняя заполненность ящика и максимальный необходимый размер ящика.

В результате расчета вектора стационарных вероятностей для различных входных данных, были получены характеристики функционирования обменника, как средства коммуникации в модели «клиент-сервер». Особое внимание при анализе характеристик уделялось компоненте заполненности обменника и времени пребывания процесса в неактивном состоянии.

Были получены следующие результаты.

При изменении интенсивности обращения процессов-клиентов к очереди сообщений  $\lambda$  и производительности сервера  $\mu$ , среднее время неактивности клиента увеличивалось с увеличением интенсивности поступления запросов и уменьшалось с увеличением производительности сервера. Заполненность ящика с увеличением интенсивностей возрастала незначительно. Однако, замечательным результатом является то, что все параметры функционирования очереди сообщений не зависят от функций распределения длин сообщений-запросов и сообщений-ответов (вычисления проводились для нормального, равномерного и экспоненциального распределений).

При увеличении количества клиентов, в ящике, в основном, накапливаются сообщения-запросы, а среднее количество сообщений-ответов и средняя длина очереди клиентов, ожидающих доступ к ящику, чтобы записать сообщение-запрос, изменяется незначительно, а для  $N > 6$  не изменяются вообще. Средняя заполненность обменника увеличивалась незначительно. Полученные данные также были одинаковы для всех рассмотренных типов распределений длин сообщений-запросов и сообщений-ответов.

Увеличение длин запросов практически не влияет на количество сообщений-ответов в ящике, зато количество клиентов, стоящих в очереди, увеличивается. Увеличивается и время, которое клиент проводит в неактивном состоянии. Однако, снова обратим внимание на то, что компонента заполненности ящика при увеличении длин сообщений возрастает медленнее, чем увеличиваются длины сообщений. В отличие от предыдущих случаев, при изменении длин сообщений-ответов и сообщений-запросов функция их распределения оказывает влияние на характеристики функционирования обменника. Самые лучшие характеристики получены для экспоненциального распределения, самые плохие – для нормального.

### **Заключение**

Таким образом, промоделировав работу очереди сообщений для решения коммуникативной задачи «клиент-сервер» при различных входных данных и получив характеристики функционирования для них можно выработать наиболее общие рекомендации по использованию очереди сообщений в зависимости от планируемых



входных данных и преследуемых целей. При увеличении производительности сервера и уменьшении интенсивности поступления запросов, как и ожидалось, время проводимое клиентом в неактивном состоянии (в состоянии, когда клиент работает с обменником и находится в состоянии ожидания) снижается и наоборот, при снижении производительности сервера это время резко увеличивается. Естественно, ухудшаются временные характеристики и при увеличении количества клиентов. Однако, в результате моделирования были получены хорошие характеристики заполненности обменника, следовательно очередь сообщений позволяет организовать информационный обмен между клиентом и сервером с использованием небольшого пространства памяти.

Самые лучшие характеристики - и времени, и заполненности, и загруженности сервера - были получены для экспоненциального распределения длин сообщений-запросов и сообщений-ответов. Это позволяет утверждать, что использовать обменник в этом случае наиболее выгодно.

Выявленные тенденции изменения характеристик представляют наибольший интерес в сравнении с аналогичными характеристиками при организации обмена с помощью общих сегментов оперативной памяти. В этом случае построенная вероятностная модель функционирования очереди сообщений может быть использована для реализации надстройки многопроцессной операционной системы, для автоматического выбора средства коммуникации между процессами самой системой, что избавит данный аспект программирования от субъективного фактора.

### **Литература**

1. Maurice J. Bach THE DESIGN OF THE UNIX OPERATING SYSTEM
2. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей. - М.:Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. - 448с.
3. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. - М.:Мир. 1979.-600 с.
4. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. -М.:Машиностроение, 1979.-432 с.
5. Конвей Р.В., Максвелл В.Л., Миллер Л.В. Теория расписаний. - М.:Наука, 1975. - 360 с.
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. - М.: Наука, 1970. -720с.
7. Никитин В.Д. Технологии электронных коммуникаций. - т. 17 UNIX: Стандартные коммуникационные возможности и средства. - М. 1992. - 101 с.