

# ВЫБОР ВАРИАНТОВ ОРГАНИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПРОСОВ В СИСТЕМАХ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ УСЛУГ

В.А. Богатырев<sup>1</sup>, И.Ю. Голубев<sup>2</sup>, Д.А. Нестеров<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет сервиса и экономики (СПбГУСЭ), 191015, Санкт-Петербург, ул. Кавалергардская, 7, лит. А;

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 197101, Санкт-Петербург, пр. Кронверкский, 49;

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5

Произведён анализ вариантов организации распределения запросов в кластере информационного сервиса, позволяющего при наименьших издержках на диспетчеризацию максимизировать производительность кластера (минимизировать время обслуживания запросов в системе).

**Ключевые слова:** распределённые вычислительные системы, распределение запросов, кластер, оптимизация.

## CHOICE OF QUERY DISTRIBUTION OPTIONS IN INFORMATION SERVICES SYSTEMS

V.A. Bogatyrev, I.Yu. Golubev, D.A. Nesterov

*St.-Petersburg state university of service and economy (SPbSUSE), 191015, St.-Petersburg, street Kavalergardsky, 7, lit. A ;*

*National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 197101, St.-Petersburg, avenue Kronverksky, 49;*

*St.-Petersburg state forest technical university, 194021, St.-Petersburg, Institutskiy per., 5*

The analysis of query distribution options for information services cluster, which allows to maximize the clusters performance at the lowest cost to load balancing (to minimize time of service in the system), is performed.

**Keywords:** distributed computing systems, load balancing, cluster, optimization.

### Введение

Развитие сферы услуг, в том числе информационного сервиса, сопровождается постоянным возрастанием требований к эффективности систем хранения обработки и передачи данных [1], одними из основных путей достижения высокой производительности, отказоустойчивости и надёжности которых являются кластеризация и динамическое распределение запросов [2 – 7].

Кластер представляет собой вычислительную систему, состоящую из нескольких связанных между собой компьютеров, используемых в результате диспетчеризации как единый, унифицированный компьютерный ресурс.

Обеспечение эффективности информационного сервиса требует выбора рациональных вариантов организации диспетчеризации запросов в распределённых системах, консолидирующих кластеры хранения и обработки информации.

### Постановка задачи

Рассмотрим распределённую вычислительную систему, объединяющую  $n$  серверов,  $m$  из которых реализуют функцию диспетчеризации. Запросы, приходящие в систему, попадают в один из серверов-диспетчеров (выбранный случайным образом), где случайно перераспределяются между серверами-исполнителями, выполняющими обработку запросов. При этом каждый сервер-диспетчер обрабатывает долю распределяемых им запросов  $g$  самостоятельно.

Ставится задача выбора вариантов организации распределения потока запросов между серверами кластера, при которых достигается минимум среднего времени пребывания запросов  $T$  в системе.

### Оценка времени пребывания запросов в системе

Предположим, что поток запросов, поступающий в кластер, является простейшим, а длительности диспетчеризации, передачи дан-

ных и обслуживания распределены по экспоненциальному закону. Исследуемую распределенную вычислительную систему представим сетью массового обслуживания, изображенной на рис. 1.

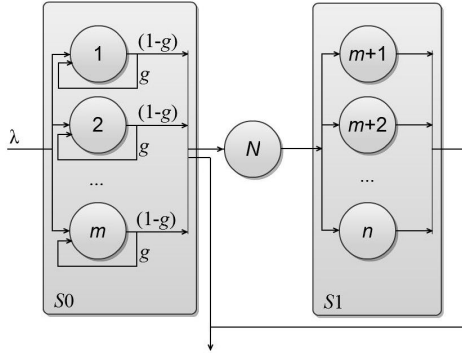


Рисунок 1. Модель массового обслуживания кластера

Запросы, поступающие в группу серверов-диспетчеров  $S0$  с интенсивностью  $\lambda$ , с вероятностью  $g$  обслуживаются в этих же серверах, а с вероятностью  $(1-g)$  перераспределяются через сеть кластера ( $N$ ) на обработку в группу серверов-исполнителей  $S1$ . Каждый сервер и сеть кластера представим одноканальными системами массового обслуживания (СМО).

Рассмотрим варианты организации распределения запросов, когда приоритеты запросов на диспетчеризацию и собственно решение функциональных задач одинаковы (бесприоритетная дисциплина обслуживания, ДО); когда запросы на диспетчеризацию имеют относительный либо абсолютный приоритет над функциональными запросами и когда функциональные запросы имеют относительный либо абсолютный приоритет относительно задач диспетчеризации.

Среднее время пребывания запросов в системе вычисляется как:

$$T = D + gQ + (1-g)(L + M), \quad (1)$$

где  $D$  – среднее время пребывания запроса в системе до окончания его диспетчеризации,  $Q$  – среднее время пребывания в системе запроса, обрабатываемого сервером-диспетчером, после окончания его диспетчеризации,  $L$  и  $M$  – среднее время пребывания перераспределенного запроса в сети кластера и в сервере-исполнителе соответственно.

Для исследуемых вариантов организации распределения запросов среднее время пребывания запроса в системе до окончания его

диспетчеризации при беспriorитетной ДО рассчитывается [8]:

$$D_1 = \frac{\lambda b_0^2 + g\lambda b_2^2}{m - (\lambda b_0 + g\lambda b_2)} + b_0,$$

где  $b_0$  – средняя длительность диспетчеризации запроса,  $b_2$  – средняя длительность обработки запроса.

При ДО с относительными и абсолютными приоритетами запросов на диспетчеризацию имеем:

$$D_2 = D_3 = \frac{\lambda b_0^2 + g\lambda b_2^2}{m - \lambda b_0} + b_0.$$

Если запросы на обработку имеют относительный приоритет, то:

$$D_4 = \frac{\lambda b_0^2 + g\lambda b_2^2}{\left(1 - \frac{g\lambda b_2}{m}\right)(m - (\lambda b_0 + g\lambda b_2))} + b_0.$$

В случае, когда запросы на обработку имеют абсолютный приоритет:

$$D_5 = \frac{\lambda b_0^2 + g\lambda b_2^2}{\left(1 - \frac{g\lambda b_2}{m}\right)(m - (\lambda b_0 + g\lambda b_2))} + \frac{g\lambda b_2 b_0}{1 - g\lambda b_2} + b_0.$$

Среднее время пребывания в системе запроса, обрабатываемого сервером-диспетчером, после окончания его диспетчеризации, при беспriorитетной ДО рассчитывается:

$$Q_1 = \frac{\lambda b_0^2 + g\lambda b_2^2}{m - (\lambda b_0 + g\lambda b_2)} + b_2,$$

если реализуется ДО с относительными приоритетами запросов на диспетчеризацию, то:

$$Q_2 = \frac{\lambda b_0^2 + g\lambda b_2^2}{\left(1 - \frac{\lambda b_0}{m}\right)(m - (\lambda b_0 + g\lambda b_2))} + b_2.$$

При ДО с абсолютными приоритетами запросов на диспетчеризацию имеем:

$$Q_3 = \frac{\lambda b_0^2 + g\lambda b_2^2}{\left(1 - \frac{\lambda b_0}{m}\right)(m - (\lambda b_0 + g\lambda b_2))} + \frac{\lambda b_0 b_2}{1 - \lambda b_0} + b_2.$$

В случае ДО с относительными или абсолютными приоритетами запросов на обработку:

$$Q_4 = Q_5 = \frac{\lambda b_0^2 + g\lambda b_2^2}{m - g\lambda b_2} + b_2.$$

Средние задержки перераспределенного запроса в сети кластера и в сервере-исполнителе получим на основе известной формулы для среднего времени пребывания запроса в СМО типа  $M/M/1$  [8]:

$$L = \frac{b_1}{1 - (1-g)\lambda b_1}, \quad M = \frac{b_2}{1 - \frac{(1-g)\lambda b_2}{n-m}},$$

где  $b_1$  – средняя длительность передачи запроса по сети кластера.

Исследование проводится в условиях отсутствия в системе перегрузок:

$$\frac{\lambda b_0 + g\lambda b_2}{m} < 1, \quad (1-g)\lambda b_1 < 1, \quad \frac{(1-g)\lambda b_2}{n-m} < 1.$$

### Выбор количества серверов-диспетчеров

Предположим, что  $n=10$  шт.,  $b_0=0,2$  с,  $b_1=0,05$  с,  $b_2=1$  с,  $g=0,1$ .

В результате расчётов, выполненных в системе математических расчетов Mathcad Prime 2.0, получены зависимости среднего времени пребывания запросов в системе от количества серверов, выполняющих функции диспетчеризации, представленные на рис. 2. На рис.2 кривые 1-5 соответствуют вариантам организации распределения запросов, когда приоритеты запросов на диспетчеризацию и собственно решение функциональных задач одинаковы; когда запросы на диспетчеризацию имеют относительный либо абсолютный приоритет над функциональными запросами и когда функциональные запросы имеют относительный либо абсолютный приоритет относительно задач диспетчеризации.

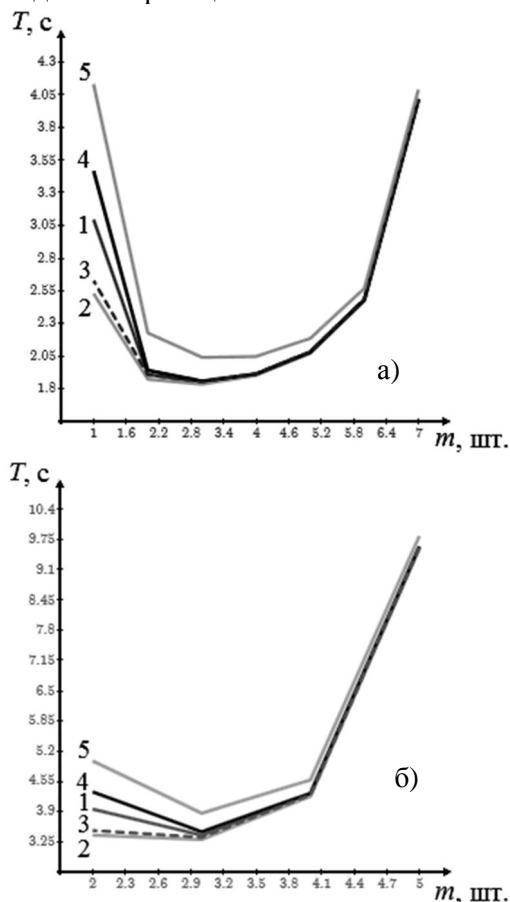


Рисунок 2. Количество серверов-диспетчеров: а)  $\lambda=2.5$  1/с; б)  $\lambda=5$  1/с

Из представленных графиков видно, что существует оптимальное количество серверов-диспетчеров, зависящее от ДО и интенсивности входного потока.

Наиболее эффективной с точки зрения минимального среднего времени пребывания

запросов в системе является ДО с относительным приоритетом запросов на диспетчеризацию.

### Выбор доли обрабатываемых серверами-диспетчерами запросов

В предположении, что  $m=3$ , получена зависимость среднего времени пребывания запросов в системе от доли обрабатываемых серверами-диспетчерами запросов, представленная на рис. 3. На рис.3 кривые 1-5 представляют варианты дисциплин диспетчеризации в порядке соответствующее предыдущему рисунку.

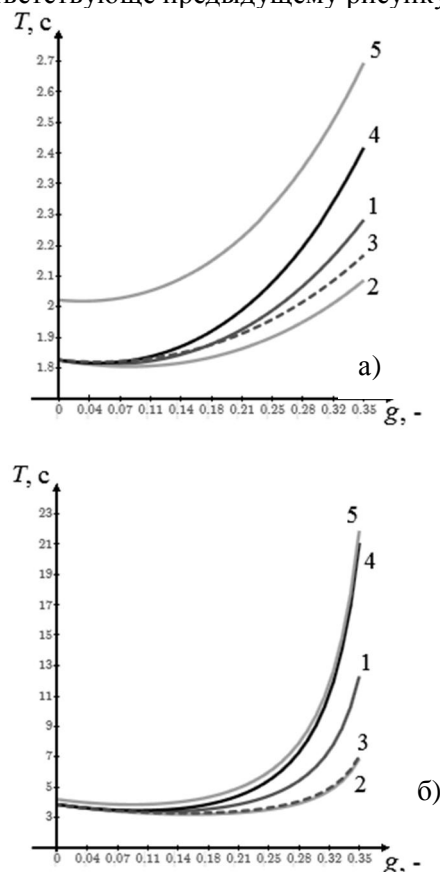


Рисунок 3. Доля обрабатываемых диспетчерами запросов: а)  $\lambda=2.5$  1/с; б)  $\lambda=5$  1/с

Из представленных графиков видно, что существует оптимальное значение  $g$ , зависящее от интенсивности входного потока.

Интенсивность потока может измеряться в реальном масштабе времени, в процессе функционирования исследуемой системы. Таким образом, задача оптимизации распределения запросов может решаться динамически. Измерение нагрузки замедляет работу системы, поэтому целесообразность адаптивной оптимизации требует обоснования.

### Оптимизация распределения запросов

Поиск решения по оптимальному варианту распределения запросов проведем по критерию минимума среднего времени пребывания:

$$T = \min_g T(m, g, \lambda),$$

где среднее время пребывания вычисляется на основании формулы (1).

В результате оптимизации находится количество серверов-диспетчеров  $m$  и доля запросов  $g$ , обрабатываемая в этих серверах, которые позволяют достичь минимума среднего времени пребывания запросов в системе.

Проведём пример оптимизации распределения запросов для рассматриваемых ДО в серверах-диспетчерах при  $\lambda=5$  1/с,  $n=10$  шт.,  $b_0=0,35$  с,  $b_1=0,05$  с,  $b_2=1$ .

В результате расчётов установлено, что для беспriorитетной ДО оптимальным количеством диспетчеров является  $m_1=3$ , а доля обрабатываемых ими запросов –  $g_1=0.038$ , для ДО с относительными приоритетами запросов на диспетчеризацию –  $m_2=10$ ,  $g_2=1$ , для ДО с абсолютными приоритетами запросов на диспетчеризацию –  $m_3=3$ ,  $g_3=0.052$ , для ДО с относительными приоритетами запросов на обработку –  $m_4=3$ ,  $g_4=0.03$ , для ДО с абсолютными приоритетами запросов на обработку –  $m_5=3$ ,  $g_5=0.023$ .

Среднее время пребывания запросов в системе при указанных оптимальных значениях соответственно равно:  $T_1=4.312$ ,  $T_2=4.124$ ,  $T_3=4.34$ ,  $T_4=4.281$ ,  $T_5=4.495$ .

### Заключение

Проанализировано влияние организации распределения запросов на эффективность вычислительного кластера информационного сервиса, показана эффективность разделения функций диспетчеризации между несколькими компьютерами кластера.

Показана эффективность организации в серверах-диспетчерах дисциплины обслуживания с относительным приоритетом запросов на диспетчеризацию над функциональными запросами.

Предложенные в статье рекомендации могут быть использованы при оптимизации дисциплин диспетчеризации и обслуживания запросов в системах распределенного предоставления информационного сервиса.

### Литература

1. Таненбаум Э., Ван Стеен М. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. – СПб.: Питер. – 2003. – 877 с.
2. Gaeta M, Konovalov M, Shorgin S. Development of mathematical models and methods of task distribution in distributed computing system // Reliability: Theory & Applications. 2006, №4, Vol.1, pp.16-21.
3. Богатырев В.А., Богатырев С.В., Лепеш Г.В. Критерии оптимальности объединения машин и агрегатов в системы // Техничко-технологические проблемы сервиса. –2009. – №2. – С. 30-35.
4. Богатырев В.А., Богатырев С.В. К анализу и оптимизации серверных систем кластерной архитектуры с балансировкой нагрузки // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2010. – № 2. – С. 4-9.
5. Богатырев В.А. Надежность вариантов размещения функциональных ресурсов в однородных вычислительных сетях // Электронное моделирование. – 1997. – № 3. – С. 21-27.
6. Богатырев В.А., Голубев И.Ю. Оптимизация распределения запросов в системе кластеров при сочетании аналитического и имитационного моделирования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – № 5. – С. 79-83.
7. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V., Golubev I.Yu. Optimization and the Process of Task Distribution between Computer System Clusters // Automatic Control and Computer Sciences. – 2012. – № 3 (Vol. 46), – pp. 103-111.
8. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.

<sup>1</sup> Голубев Иван Юрьевич – аспирант кафедры вычислительной техники национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, моб.: +7-911-777-71-29, email: [www.golubev@mail.ru](mailto:www.golubev@mail.ru);

<sup>2</sup> Богатырев Владимир Анатольевич, д.т.н., профессор кафедры Прикладных и информационных технологий СПбГУСЭ, моб.: +7(911) 726 02 26, email: [Vladimir.bogatyrev@gmail.com](mailto:Vladimir.bogatyrev@gmail.com);

<sup>3</sup> Нестеров Дмитрий Алексеевич – инженер Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета, моб.: +7(921)922 97 86, email: [dimon666n@mail.ru](mailto:dimon666n@mail.ru).