

УДК 004.942:004.715

Александр ХОШАБА

khoshaba@mail.ru

г. Винница

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

В работе показаны некоторые аспекты решения задач моделирования производительности вычислительных систем, которые заключаются в эффективном использовании математических моделей и программных средств. Основное внимание уделено достоверным событиям поступления данных на основе которых построена математическая модель. Рассмотрены основные показатели производительности вычислительных систем, предоставлены их функциональные зависимости. Показан пример моделирования и реализации четырех-звенной математической модели, построены графики функций основных параметров производительности вычислительных систем. Рассмотрено пример исходного кода двух модулей программы определения основных параметров производительности вычислительных систем.

Ключевые слова: производительность вычислительных систем, математические модели, теория вероятностей, достоверные события, прикладные средства математических пакетов Octave или Matlab.

Постановка проблемы

Производительность вычислительной системы (ВС) – это количественная характеристика скорости выполнения определённых операций в вычислительных средах. К таким определённым операциям могут относиться запросы, вычисления, передача данных (байты) и т.д. Важным в изучении производительности ВС является исследование математических моделей потребления ресурсов и обработки данных относительно определённых критериев с помощью программных средств. Основными критериями изучения производительности ВС являются прикладные или искусственно созданные задачи (бенчмарки, сценарии воздействия).

Одной из проблем в изучении производительности ВС является отсутствие оценок искусственно созданных задач. Обычно, при сравнении производительности ВС используется работа архиваторов, прикладных программ по решению алгебраических уравнений, обработка графических изображений и т.д. Однако, эти задачи по-разному используют вычислительные ресурсы системы. Поэтому, нагрузочные воздействия в виде прикладных про-

грамм вызывают сложности в оценках производительности ВС.

В связи с этим, актуальными решениями таких вопросов является искусственно созданные задачи (сценарии воздействия) с изученными особенностями потребления вычислительных и информационных ресурсов ВС. Другим, не менее важным направлением в области производительности ВС является выполнение математического моделирования полученных данных.

Анализ последних исследований и публикаций

На протяжении ряда лет в области оценки производительности ВС изучаются вероятностные технологические процессы. В основном, использование вероятностных моделей при изучении технологических процессов основываются на теории массового обслуживания [1-4]. В основе данных моделей производительности ВС лежит предположение о случайном характере поступления запросов в систему (сервис) корпоративного сервера (узла корпоративной сети).

Вместе с тем, альтернативу этим методам составляет изучение достоверных событий поступления данных. Это направле-

ние отличается условием поступления запросов, где используются понятия достоверности наступления событий, то есть использования детерминированных функций, которые задаются в сценариях нагрузочного воздействия [5-8]. На первой стадии изучения моделей производительности ВС разработка сценариев нагрузочного воздействия предполагает важное условие их использования: детерминированное последовательное поступление запросов к субъекту (объекту) исследования.

Постановка задачи

Целью исследования является моделирование показателей основных характеристик производительности ВС с помощью математических моделей и программных средств.

Изложение основного материала

В рассмотренном далее примере экспериментальные исследования получения основных характеристик производительности ВС проводились на сервере с процессором Intel Pentium G4400, оперативно-запоминающем устройстве объемом 16 GB, веб-сервере apache версии 2.4.6. В качестве инструмента исследования мониторинга веб-сервера использовался httpperf. Нагрузочные воздействия на веб-сервер выполнялись исходя из соотношения: $100 \cdot t$ запросов в секунду, где $t = [0..80]$.

Теоретические сведения. Под событием в теории вероятностей понимают любой факт, который может произойти или не произойти в результате эксперимента со случайным исходом. Самый простой результат такого эксперимента: веб-сервер корпоративной сети который имеет только четыре состояния в каждый момент времени. Каждое такое состояние называется элементарным событием. К еще одним состояниям эксперимента может относиться сценарий нагрузочного воздействия, где определена последовательность запросов к веб-серверу от 0 до 1000 с шагом 100 за

каждую секунду. Тогда элементарными событиями будут серии запросов $\{0, 100, 200, \dots, 1000\}$.

Множество всех элементарных событий E называют пространством элементарных событий. Так, в приведенных выше примерах, при работе веб-сервера это пространство состоит из четырех элементарных событий, а у сценария нагрузочного воздействия – их 11.

Также событие может состоять из одного или нескольких элементарных событий. Например, отсутствие очереди к веб-серверу при его нулевом состоянии или наличие ошибок в запросах при его перегруженном состоянии. В этом случае, можно определить событие как произвольное подмножество пространства элементарных событий.

Достоверным событием (Ω) называется всё пространство элементарных событий. Таким образом, достоверное событие – это событие, которое обязательно должно произойти в результате данного эксперимента. Например, при работе сценария нагрузочного воздействия за какой-то период времени к веб-серверу будут отосланы запросы в количестве от 0 до 1000 и их не может быть больше.

Невозможным событием ($\emptyset$) называется пустое подмножество пространства элементарных событий. То есть, невозможное событие не может произойти в результате данного эксперимента. К примеру рассмотренного нагрузочного сценария - количество запросов к веб-серверу не может быть 110.

События A и B называются тождественными ($A = B$), если событие A происходит тогда и только тогда, когда происходит событие B . Например, отсутствие очереди к веб-серверу приводит его в нулевое состояние или при появлении ошибок от запросов приводит веб-сервер к перегруженному состоянию. В этом случае отмечают, что событие A влечёт за собой событие B ($A \subset B$), если из условия «произошло событие A » следует что «произошло событие B ».

Событие C называется суммой событий A и B ($C = A \cup B$), если событие C происходит тогда и только тогда, когда происходит либо A , либо B . К примеру, появление ошибок или потеря запросов к веб-серверу приводят его к перегруженному состоянию.

Событие C называется произведением событий A и B ($C = A \cap B$), если событие C происходит тогда и только тогда, когда происходит и A , и B .

Событие C называется разностью событий A и B ($C = A - B$), если событие C происходит тогда и только тогда, когда происходит событие A и не происходит событие B . Например, второе состояние веб-сервера происходит тогда, когда наблюдается очередь и, в то же время, не происходит потеря запросов (т.е. очередь не переполняется запросами).

Событие A' называется противоположным событию A , если не произошло событие A . Так, нулевое и первое состояния работы веб-сервера являются противоположными событиями.

События A и B называются несовместными ($A \cap B = \emptyset$), если их одновременное появление невозможно. К примеру, нулевое и первое состояния работы веб-сервера являются несовместными событиями.

Изучение четырех-звенной модели производительности ВС.

В основе использования достоверных событий при исследовании производительности ВС лежит четырех-звенная модель в которой определяются основные характеристики поступления и обработки запросов на основе показателей и процессов производительности ВС (табл. 1).

Табл. 1. Основные характеристики поступления и обработки запросов четырех-звенной модели производительности ВС

Процессы производительности ВС	Показатели производительности ВС	
	Пропускная способность	Время обработки запроса
Поступление запросов	Пропускная способность поступающих запросов	Общее время пребывания на обработке всех запросов
Обработка запросов	Пропускная способности одного запроса	Время обработки одного запроса

Данная модель позволяет моделировать основные характеристики поступления и обработки запросов следующим образом. Для пропускной способности поступающих запросов (arrival throughput rate of requests, Ω_1) и пропускной способности одного запроса (arrival time rate of request, Ω_2) имеем соотношения:

$$\Omega_1 = 1/\Omega_2 \quad (1)$$

$$\Omega_2 = 1/\Omega_1 \quad (2)$$

Для общего времени пребывания на обработке всех запросов (processing throughput rate of requests, μ_1) и времени обработки одного запроса (processing time rate of request, μ_2) имеем сообщения:

$$\mu_1 = 1/\mu_2 \quad (3)$$

$$\mu_2 = 1/\mu_1 \quad (4)$$

Для реализации данной модели в виде библиотеки пакета прикладных программ Octave или Matlab возможно определить входные параметры табл. 1. Выходными параметрами будут являться состояние системы (сервиса), длина очереди, значения утилизации (utilization, U_t), доступности (availability, A_v), активности (activity, A_c) и бездеятельности (inactivity, I_n) системы (сервиса), где:

$$U_t = \Omega_1/\mu_1 \quad (5)$$

$$A_v = 1 - U_t \quad (6)$$

$$A_c = \Omega_2/\mu_2 \quad (7)$$

$$I_n = 1 - A_c \quad (8)$$

С целью моделирования основных характеристик поступления и обработки запросов для данной модели производительности ВС созданы прикладные математиче-

ские модули которые работают в системах Octave и Matlab и определяют основные параметры работы сервисов (узлов компьютерной сети). К входным параметрам программы относятся количество отосланных запросов, скорость обработки запросов, номинальная и текущая длина очереди.

Выходными параметрами программы являются состояния сервиса (узла), длина текущей очереди (с учетом обработанных данных), количество потерянных запросов, величины утилизации и доступности сервиса (узла компьютерной сети).

Программа моделирования основных параметров производительности ВС имеет проверку корректности входных значений, основной части расчета показателей производительности и некоторых тест-кейсов (рис. 1).

Данная программа состоит из двух модулей: первый (функционально описанный выше, листинг 1) и второй модуль, который формирует некоторые функциональ-

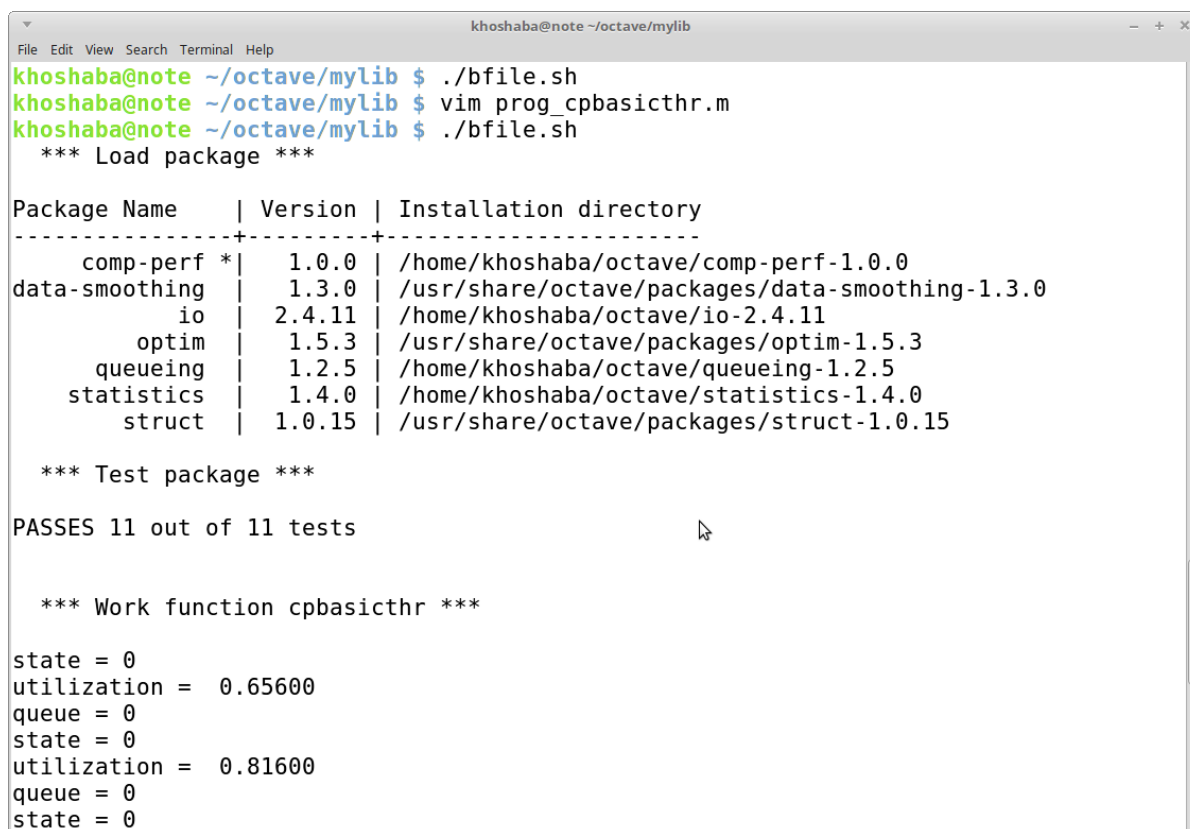
ные зависимости (листинг 2), составляющие сценарии воздействия.

Строка 8 первого модуля программы моделирования основных параметров производительности ВС вызывает сценарий нагрузочного воздействия, который соответствует функциональной зависимости $100 \cdot t$ на периоде от $0,6 \cdot 10^4$ до $0,7 \cdot 10^4$ запросов в секунду.

На основе разработанной программы возможно получать расчеты состояний (рис. 2, а) и очередей к веб-серверу корпоративной сети (рис. 2, б).

Выводы и перспективы исследований

Разработка программы на основе описанной модели предоставляет возможность в дальнейшем проводить исследования и моделировать производительность распределенных ВС.



```
khoshaba@note ~/octave/mylib $ ./bfile.sh
khoshaba@note ~/octave/mylib $ vim prog_cpbasicthr.m
khoshaba@note ~/octave/mylib $ ./bfile.sh
*** Load package ***

Package Name | Version | Installation directory
-----+-----+-----
comp-perf * | 1.0.0 | /home/khoshaba/octave/comp-perf-1.0.0
data-smoothing | 1.3.0 | /usr/share/octave/packages/data-smoothing-1.3.0
io | 2.4.11 | /home/khoshaba/octave/io-2.4.11
optim | 1.5.3 | /usr/share/octave/packages/optim-1.5.3
queueing | 1.2.5 | /home/khoshaba/octave/queueing-1.2.5
statistics | 1.4.0 | /home/khoshaba/octave/statistics-1.4.0
struct | 1.0.15 | /usr/share/octave/packages/struct-1.0.15

*** Test package ***

PASSES 11 out of 11 tests

*** Work function cpbasicthr ***

state = 0
utilization = 0.65600
queue = 0
state = 0
utilization = 0.81600
queue = 0
state = 0
```

Рис. 1. Работа тест-кейсов программы моделирования основных параметров производительности ВС согласно листингу 1

Листинг 1. Первый модуль программы моделирования
основных параметров производительности ВС

```
1. #!/usr/bin/octave
2. printf(" *** Load package *** \n\n")
3. pkg load comp-perf
4. pkg list
5. printf("\n *** Test package *** \n\n")
6. test cpbasicthr
7. printf("\n\n *** Work function cpbasicthr *** \n\n")
8. run("/home/khoshaba/octave/mylib/prog_cpbasicthr.m")
```

Листинг 2. Второй модуль программы моделирования
основных параметров производительности ВС

```
1. #!/usr/bin/octave
2. pkg load comp-perf
3. mu1 = 6250;
4. limitQueue34 = 1022;
5. koef = 0.5;
6. queue_output = 0;
7. omega1 = linspace(6000, 7000, 100);
8. state = zeros(size(omega1));
9. utilization = zeros(size(omega1));
10. queue = zeros(size(omega1));
11. for count=1:length(omega1)
    a. queue(count) = queue_output;
    b. [state(count) utilization(count) queue_output] =
        cpbasicthr(omega1(count), mu1, queue(count), limitQueue34, koef);
12. endfor
13. xlabel("x")
14. ylabel("sin(x)")
15. plot(omega1, state);
```

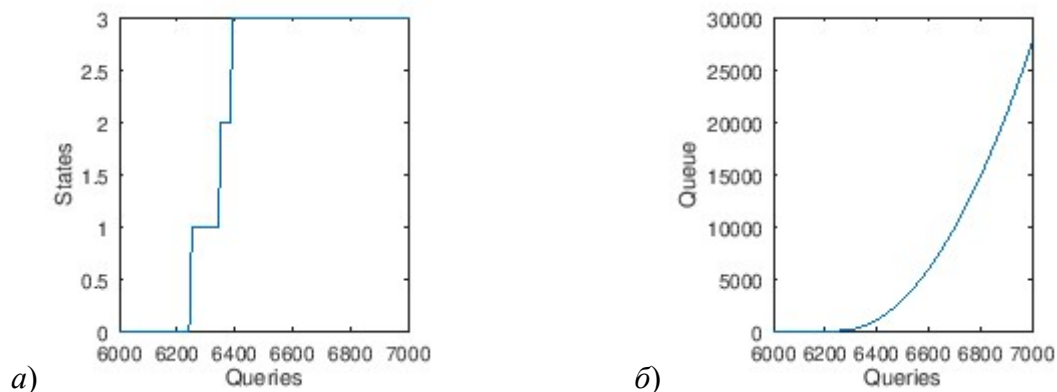


Рис. 2. Расчеты состояний состояний (рис. 2, а)
и очередей (рис. 2, б) к веб-серверу корпоративной сети

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lazowska, Edward D. Quantitative System Performance: Computer System Analysis Using Queueing Network Models [Text] / Edward D. Lazowska, John Zahorjan, G. Scott Graham, and Kenneth C. Sevcik. – Prentice Hall, 1984.
2. Chang, Kow C. The Research Queueing Package Modeling Environment (RESQME) [Text] / Kow C. Chang, Robert F. Gordon, Paul G. Loewner, and Edward A. MacNair // In Gerald W. Evans,

- Mansoorreh Mollaghasemi, Edward C. Russell, and William E. Biles, editors, Winter Simulation Conference. – ACM Press, 1993. – , P. 294-302.
3. Bolch, G. Queueing Networks and Markov Chains: Modeling and Performance Evaluation with Computer Science Applications [Text] / G. Bolch, S. Greiner, H. de Meer, and K. Trivedi. – Wiley, 1998. – P. 126.
 4. Marzolla, M. The Octave Queueing Package. User's Guide, Edition 1 for release 1.2.5 [Text] / Moreno Marzolla. – 2016-12-06. – P. 97.
 5. Хошаба, А.М. Исследование процессов нагрузочных воздействий и восстановлений производительности вычислительных систем [Текст] / А.М. Хошаба // Прикладні питання математичного моделювання №1. – Херсон, 2018. – С. 178-185.
 6. Хошаба, А.М. Моделирование процессов нагрузочных воздействий и восстановлений производительности вычислительных систем [Текст] / А.М. Хошаба // XIX Міжнародна конференція з математичного моделювання (МКММ-2018): Тези допов. – Херсон: ХНТУ, 2018. – С. 93.
 7. Хошаба, А.М. Моделирование состояний при нагрузочных воздействиях на сервисы вычислительной системы [Текст] / А.М. Хошаба // XIII Міжнародна науково-практична конференція «Математичне та імітаційне моделювання систем»: Тези допов. – Жукин, 2018. – С. 269-272.
 8. Хошаба, О.М. Автоматизация проведения нагрузочных воздействий на прикладные сервисы для моделирования вычислительных систем [Текст] / О.М. Хошаба // III Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Інформаційні технології в моделюванні»: Збірник матеріалів конференції. – Вінниця, 2018. – С. 94-96.

Olexandr KHOSHABA
Vinnitsia

MODELING THE PERFORMANCE OF COMPUTING SYSTEMS BASED ON MODELS AND SOFTWARE

The paper shows some aspects of solving performance modeling problems of computing systems, which consist in the effective use of mathematical models and software. The main attention is paid to reliable data arrival events on the basis of which a mathematical model is built. The main performance indicators of computing systems are considered, their functional dependencies are provided. An example of modeling and implementing a four-stage mathematical model is shown, and graphs of functions of the main performance parameters of computing systems are constructed. The example of the source code of two modules of the program for determining the basic performance parameters of computing systems is considered.

Keywords: performance of computing systems, mathematical models, probability theory, reliable events, applied tools of mathematical packages Octave or Matlab.

Олександр ХОШАБА
Вінниця

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ МОДЕЛЕЙ І ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ

В роботі показані деякі аспекти вирішення завдань моделювання продуктивності обчислювальних систем, які полягають в ефективному використанні математичних моделей і програмних засобів. Основну увагу приділено достовірним подіям надходження даних на основі яких побудована математична модель. Розглянуто основні показники продуктивності обчислювальних систем, надані їх функціональні залежності. Показано приклад моделювання та реалізації чотирьох-ланкової математичної моделі, побудовані графіки функцій основних параметрів продуктивності обчислювальних систем. Розглянуто приклад вихідного коду двох модулів програми з визначенням основних параметрів продуктивності обчислювальних систем.

Ключові слова: продуктивність обчислювальних систем, математичні моделі, теорія ймовірностей, достовірні події, прикладні засоби математичних пакетів Octave або Matlab.

Стаття надійшла до редколегії 24.10.2018