

УДК 681.3.07

DOI: 10.33310/2524-0978-2019-1-7-75-79

**Александр ХОШАБА**  
[Oleksandr.Khoshaba@gmail.com](mailto:Oleksandr.Khoshaba@gmail.com)  
ORCID: 0000-0001-5375-6280  
г. Винница

## ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КАНАЛЬНОГО УРОВНЯ СТЕКА ПРОТОКОЛОВ TCP/IP

*В работе рассмотрена постановка проблемы в области изучения различных вопросов, связанных с производительностью вычислительных систем. Сформулирована постановка задачи исследования производительности канального уровня стека протоколов TCP/IP.*

*Показано определение качественных оценок производительности вычислительных систем на примере исследования канального уровня стека протоколов TCP/IP. Выполнен анализ общих характеристик синхронных и асинхронных запросов, определены условия переходов состояний объекта исследования. Рассмотрены особенности использования распространенных программных инструментов, генерирующих синхронные и асинхронные запросы. Показаны результаты исследования канального уровня стека протоколов TCP/IP.*

**Ключевые слова:** производительность вычислительных систем, канальный уровень стека протоколов TCP/IP, нагрузочные воздействия (тестирование), программные инструменты тестирования.

### Постановка проблемы

Изучение вопросов производительности вычислительных систем (ВС) и построение математических моделей способствует развитию многих дисциплин, включая информационную безопасность, проектирование надежных и отказоустойчивых систем, разработку и тестирование программных систем, высоконагруженные и распределенные системы и многие другие прикладные знания. В связи с этим, важными вопросами в области производительности ВС являются усовершенствование показателей, разработка новых методов и математических моделей оценок состояний объектов исследования, изучение качественных и количественных характеристик распределенных вычислительных и информационных ресурсов, исследование особенностей функционирования различных подсистем ВС и многие другие вопросы.

### Анализ последних исследований и публикаций

Существует достаточное количество оценок производительности ВС, которые основаны на детерминированных и стохас-

тических методах исследования. Однако, все они имеют как преимущества, так и недостатки. Обращает на себя внимание использование идеальных моделей оценки производительности пропускной способности канала передачи данных [1], где объем переданной информации  $V$  вычисляется по формуле:

$$V = q \cdot t, \quad (1)$$

где  $q$  – пропускная способность канала (биты в секунду или подобные единицы), а  $t$  – время передачи.

Отсюда, зная скорость передачи сообщения, узнают время передачи данных по формуле:

$$t = V/q, \quad (2)$$

Более сложными являются другие, также связанные с производительностью ВС примеры [2]. Однако, они тоже основаны на принципах идеальной модели, где пропускная способность канала (Throughput), также как и время ответа (Response Time), является неизменными величинами (константами). Использование данного решения распространено в средних и высших учебных заведениях. К преимуществам данного метода относится его простота и скорость по-

лучения оценок основных показателей производительности ВС.

К наиболее многочисленным случаям использования методов определения оценок основных показателей производительности ВС на практике является направление, основанное на стохастических и детерминированных методах исследования. Оценки производительности ВС по данному направлению в основном получают с помощью использования инструментальных методов исследования, к примеру JMeter [3], httpperf [4] и многих других важных инструментов. Преимуществом данного направления является простое определение основных показателей производительности ВС, которые рассчитывают на основе экспериментальных данных. К недостаткам данного направления относятся сложности в области анализа оценок и прогнозирования показателей производительности ВС.

Также, распространенными являются исследования производительности ВС основанные на оценках, полученные на основе стохастических моделей массового обслуживания [5]. К недостаткам данного направления относят прежде всего ограничения в использовании моделей, которые связанные с исследованиями в области нагрузочного тестирования, где воздействия с помощью потоков запросов носит детерминированный характер и описывается в специальных сценариях.

Таким образом, существуют достаточно методов определения оценок производительности ВС, которые носят количественный характер. Однако, качественные оценки производительности ВС, которые являются не менее эффективными, используются довольно редко. Поэтому, **целью данной работы** является изучение качественных оценок производительности ВС на примере канального уровня стека протоколов TCP/IP.

### Постановка задачи

В данной работе необходимо выполнить исследование канального уровня стека протокола TCP/IP с помощью качественной

оценки производительности ВС и программных инструментов, основанных на синхронных и асинхронных запросах к серверу компьютерной сети.

### Изложение основного материала

#### Определение качественных оценок производительности ВС

В данной работе используется определение качественной оценки (табл. 1, столбец 2) относительно разработанных критериев [6-8] производительности ВС, которые основываются на определении трех состояний объекта исследования. К таким критериям относятся наличие очереди запросов (*request queue, Qu*) и ошибок (*presence of errors, Err*). На их основе выполняются также вычисления количественных показателей производительности ВС [7-9].

Необходимо также отметить, что такая важная характеристика передачи запросов как синхронность/асинхронность позволяет сформировать условия принадлежности объекта исследования к рассматриваемым состояниям (табл. 2). По определению, если период времени между отосланными запросами меньше времени их обработки, то такие запросы называются асинхронными. Если период времени между отосланными запросами больше или равно времени их обработки, то такие запросы называются синхронными.

В этом случае, асинхронная передача запросов в инструментальных средствах, как правило, характеризуется общим количеством отосланных запросов, скоростью формирования запросов, общим временем выполнения (обработки) запросов и состоянием объекта исследования на которые отосланы запросы. Синхронные запросы характеризуются только общим количеством отосланных запросов.

Также считается, что очередь или ошибки, результатами которых является скорость передачи или обработки запросов не встречаются при синхронной передаче данных. Поэтому, синхронные передачи запросов соответствуют состоянию S1 (низкая нагрузка).

Табл. 1. Критерии определения состояний объекта исследования

Обозначение состояния	Название состояния	Критерий определения состояния	Условия отнесения к состоянию
S1	Низкая нагрузка	Отсутствие очереди запросов, отсутствие ошибок	Синхронные запросы
S2	Умеренная нагрузка	Появление очереди запросов, отсутствие ошибок	Асинхронные запросы
S3	Высокая нагрузка	Появление ошибок, потеря запросов	Асинхронные запросы

Табл. 2. Результаты полученных качественных оценок производительности канального уровня стека протоколов TCP/IP

Характер передачи данных	Состояние канального уровня	Время обработки запроса (Processing Time, 10E-3 [с])	Пропускная способность канала (Bandwidth, 10E+3 [rps])
Синхронный	S1	0.318	3.14
Асинхронный	S2	0.131	7.63
Асинхронный	S3	0.066	15.16

Асинхронные запросы способствуют переходу объекта исследования из состояния S1 к S2 или S3. Однако, асинхронные запросы могут встречаться в состоянии S1 только в случае, когда утилизация запросов меньше 1. При превышении этого показателя образуется очередь запросов к объекту исследования. В этом случае, объект исследования переходит из состояния S1 в S2. Поэтому, можно заключить, что:

– синхронные запросы и отсутствие очереди к объекту исследования являются необходимым и достаточным условием для состояния S1;

– асинхронные запросы и наличие очереди к объекту исследования являются необходимым и достаточным условием для состояния S2;

– асинхронные запросы и наличие ошибок при их обработке являются необходимым и достаточным условием для состояния S3.

#### Определение оценок показателей производительности ВС на примере исследования канального уровня стека протоколов TCP/IP

Для исследования производительности канального уровня стека протоколов TCP/IP в корпоративной сети ставится

следующая задача: определить качественные оценки производительности ВС с помощью программных инструментов, генерирующих синхронные и асинхронные запросы стандартной для передачи данных длины кадров (64 байта) к серверу компьютерной сети.

Решение данной задачи сводится к анализу программных инструментов тестирования канального уровня стека протокола TCP/IP. После анализа инструментальных средств исследования канального уровня стека протокола TCP/IP определены две утилиты: `ping` – для выполнения синхронных запросов, `nping` – для выполнения асинхронных запросов.

При проведении ряда экспериментов определены параметры команд для выполнения синхронных запросов, которые являются следующими:

```
$ ping -c 100 coll
```

Для выполнения асинхронных запросов использовались такие параметры:

```
$ nping -rate=1000 -c 100 coll
```

```
$ nping -rate=1100 -c 100 coll
```

где параметр *rate* соответствовал скорости поступления запросов; параметр *c* обозначал общее количество запросов.

Работа вышеприведенных команд показана на рис. 1.

```
khoshaba@c204:~  
File Edit View Search Terminal Help  
[khoshaba@c204 ~]$ ping -c 10 coll  
PING coll.ci.lan (10.0.0.33) 56(84) bytes of data.  
64 bytes from coll.ci.lan (10.0.0.33): icmp_seq=1 ttl=64 time=0.271 ms  
64 bytes from coll.ci.lan (10.0.0.33): icmp_seq=2 ttl=64 time=0.350 ms  
64 bytes from coll.ci.lan (10.0.0.33): icmp_seq=3 ttl=64 time=0.342 ms  
64 bytes from coll.ci.lan (10.0.0.33): icmp_seq=4 ttl=64 time=0.261 ms  
64 bytes from coll.ci.lan (10.0.0.33): icmp_seq=5 ttl=64 time=0.317 ms  
64 bytes from coll.ci.lan (10.0.0.33): icmp_seq=6 ttl=64 time=0.344 ms  
64 bytes from coll.ci.lan (10.0.0.33): icmp_seq=7 ttl=64 time=0.279 ms  
64 bytes from coll.ci.lan (10.0.0.33): icmp_seq=8 ttl=64 time=0.332 ms  
64 bytes from coll.ci.lan (10.0.0.33): icmp_seq=9 ttl=64 time=0.357 ms  
64 bytes from coll.ci.lan (10.0.0.33): icmp_seq=10 ttl=64 time=0.335 ms  
  
--- coll.ci.lan ping statistics ---  
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9002ms  
rtt min/avg/max/mdev = 0.261/0.318/0.357/0.040 ms  
[khoshaba@c204 ~]$
```

а)

```
khoshaba@c204:/home/khoshaba  
File Edit View Search Terminal Help  
SENT (0.1128s) ICMP [10.0.0.204 > 10.0.0.33 Echo request (type=8/code=0) id=62438 seq=99] IP [ttl=64 id=31397 iplen=28 ]  
RCVD (0.1129s) ICMP [10.0.0.33 > 10.0.0.204 Echo reply (type=0/code=0) id=62438 seq=99] IP [ttl=64 id=25445 iplen=28 ]  
SENT (0.1138s) ICMP [10.0.0.204 > 10.0.0.33 Echo request (type=8/code=0) id=62438 seq=100] IP [ttl=64 id=31397 iplen=28 ]  
RCVD (0.1139s) ICMP [10.0.0.33 > 10.0.0.204 Echo reply (type=0/code=0) id=62438 seq=100] IP [ttl=64 id=25446 iplen=28 ]  
SENT (0.1148s) ICMP [10.0.0.204 > 10.0.0.33 Echo request (type=8/code=0) id=62438 seq=100] IP [ttl=64 id=31397 iplen=28 ]  
RCVD (0.1150s) ICMP [10.0.0.33 > 10.0.0.204 Echo reply (type=0/code=0) id=62438 seq=100] IP [ttl=64 id=25447 iplen=28 ]  
  
Max rtt: 1.745ms | Min rtt: 0.074ms | Avg rtt: 0.131ms  
Raw packets sent: 100 (2.800KB) | Rcvd: 100 (4.600KB) | Lost: 0 (0.00%)  
Nping done: 1 IP address pinged in 0.12 seconds  
[root@c204 khoshaba]#
```

б)

Рис. 1. Результаты выполнения команд для определения оценок производительности канального уровня стека протоколов TCP/IP (а – выполнение синхронных запросов, б – асинхронных)

После получения и обработки данных результаты исследования заносятся в таблицу (см. табл. 2).

После статистической обработки данных осуществляется их анализ и получение качественных оценок производительности канального уровня стека протоколов TCP/IP по описанным правилам и критериям соотношениям.

В ходе анализа данных обращало на себя внимание увеличение дисперсии и среднеквадратического отклонения времени обработки запросов, которые наблюдались при возрастании состояний объекта исследования от S1 до S3.

### Выводы и перспективы исследований

Проведение исследования производительности канального уровня стека протоколов TCP/IP показало эффективность использования качественных оценок. Результаты использования стандартных и распространённых программных инструментов, генерирующих синхронные и асинхронные запросы позволили определить состояния канального уровня стека протоколов TCP/IP в зависимости от нагрузочных воздействий.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Скорость передачи информации и пропускная способность канала связи. URL: <https://personal.onlyoffice.com/products/files/doceditor.aspx?fileid=app-gdrive%7c19uaD6EzDSS0E3ukgILZ9uTzvZivOD2mw> (дата обращения 15.03.2019).
2. Скорость передачи информации: URL: <https://www.yaklass.ru/p/informatika/10-klass/informatciia-i-informatcionnye-protCESSy-11955/skorost-peredachi-informatcii-12138> (дата обращения 15.03.2019).
3. Apache JMeter: URL: <https://jmeter.apache.org/> (дата обращения 15.03.2019).
4. The httpperf HTTP load generator: URL: <https://github.com/httpperf/httpperf> (дата обращения 15.03.2019).
5. Moreno Marzolla. The queueing Package. Queueing Networks analysis with GNU Octave. URL: <http://www.cs.unibo.it/~donat/octave-queueing-package.pdf> (дата обращения 15.03.2019).
6. Хошаба А.М. Моделирование производительности вычислительных систем на основе моделей и программных средств. *Геометричне моделювання та інформаційні технології*. Миколаїв, 2018. №2 (6). С. 94-98.
7. Хошаба А.М. Моделирование состояний при нагрузочных воздействиях на сервисы вычислительной системы: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. "Математичне та імітаційне моделювання систем" (м. Жукин, 25-29 червня 2018 р.). Жукин, 2018. С. 269-272.
8. Хошаба А.М. Исследование процессов нагрузочных воздействий и восстановлений производительности вычислительных систем. *Прикладні питання математичного моделювання*. Херсон, 2018. №1. С. 178-185.
9. Хошаба О.М. Автоматизация проведения нагрузочных воздействий на прикладные сервисы для моделирования вычислительных систем : зб. мат. всеукраїнської наук.-практ. конф., м. Миколаїв, 22-23 березня 2018 р. Миколаїв, 2018. С. 94-96.

**Oleksandr KHOSHABA**  
Vinnytsya

### PERFORMANCE ASSESSMENT OF THE CHANNEL STACK LEVEL OF TCP/IP PROTOCOLS

*The paper considers the formulation of the problem in the study of various issues related to the performance of computing systems. The formulation of the problem of studying the performance of the data link layer in the TCP/IP protocol stack has been formed.*

*The definition of qualitative estimates of the performance of computing systems is shown by the example of studying the data link layer of the TCP/IP protocol stack. The analysis of the general characteristics of synchronous and asynchronous requests was carried out. The conditions for transitions of states of the object of study were determined. The features of the use of common software tools that generate synchronous and asynchronous requests. The results of the study of the data link layer of the TCP/IP protocol stack are shown.*

**Keywords:** *computing system performance, data link layer of the TCP/IP protocol stack, load effects (testing), software testing tools.*

**Олександр ХОШАБА**  
Вінниця

### ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ КАНАЛЬНОГО РІВНЯ СТЕКА ПРОТОКОЛІВ TCP/IP

*В роботі розглянута постановка проблеми в галузі вивчення різних питань, що пов'язані з продуктивністю обчислювальних систем. Сформована постановка задачі дослідження продуктивності каналного рівня стека протоколів TCP/IP.*

*Показано визначення якісних оцінок продуктивності обчислювальних систем на прикладі дослідження каналного рівня стека протоколів TCP/IP. Виконано аналіз загальних характеристик синхронних і асинхронних запитів, визначено умови переходів станів об'єкта дослідження. Розглянуто особливості використання поширених програмних інструментів, що генерують синхронні і асинхронні запити. Показані результати дослідження каналного рівня стека протоколів TCP/IP.*

**Ключові слова:** *продуктивність обчислювальних систем, каналний рівень стека протоколів TCP / IP, навантажувальні впливи (тестування), програмні інструменти тестування.*

Стаття надійшла до редколегії 09.04.2019