

## ОЦЕНКА ЗАДЕРЖКИ ПЕРЕДАЧИ КАДРОВ В СЕТЕВЫХ АДАПТЕРАХ

М.К. Бойченко, И.П. Иванов, В.А. Лохтуров

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

e-mail: noc@bmstu.ru; ivanov@bmstu.ru

*Предложена методика оценки задержки передачи информации сетевыми адаптерами в компьютерных сетях, построенных по технологии Ethernet, как одной из составляющих времени реакции сети. Оценка проведена измерением времени прохождения кадра в прямом и обратном направлениях между компьютером-источником и компьютером-приемником, соединенных кроссовым кабелем. При этом учтено время на прохождение такого же кадра по специальному IP-адресу 127.0.0.1, что исключает передачу этого кадра через сетевой адаптер в сегмент компьютерной сети. Методика не требует специального оборудования и основана на модифицированном программном обеспечении сетевых операционных систем, вследствие чего доступна для использования системным администратором на любой аппаратной платформе и любой операционной системой в корпоративных сетях различного масштаба.*

**Ключевые слова:** компьютерная сеть, компьютерные технологии, утилита, модификация, операционная система, сетевой интерфейс.

## EVALUATION OF FRAME TRANSMISSION DELAY IN NETWORK INTERFACE CARDS

M.K. Boichenko, I.P. Ivanov, V.A. Lokhturov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

e-mail: noc@bmstu.ru; ivanov@bmstu.ru

*The method is proposed for evaluating a delay of information transmission by network adapters in the computer networks, built according to Ethernet technology, as one of components of the network response time. The evaluation was conducted as measurement of the round trip time of the frame passage in forward and reverse directions between the source computer and the destination computer connected with a crossover cable. In this case, the time of the similar frame passage using the IP address 127.0.0.1 has been taken into account, which excludes the frame transmission using the network adapter into the segment of the network. This method requires no special equipment and is based on the modified software of network operating systems, due to which it is accessible for using by a system administrator on any hardware platform and with any operating system in corporate networks of different size.*

**Keywords:** computer network, computer technologies, utility, modification, operating system, network interface.

К основным характеристикам производительности компьютерных сетей кроме прочих показателей относят задержку передачи и вариацию задержки передачи [1, 2]. Задержка передачи определяется как интервал времени между моментом поступления информации на вход какого-либо сетевого устройства и моментом ее появления на его выходе [3]. Задержка передачи — составляющая времени реакции сети, знание задержки передачи позволяет оценить производительность

отдельных маршрутов в транспортной системе и компьютерной сети в целом, выявляя и модернизируя “узкие места” [4]. Обязательным элементом оконечных узлов компьютерных сетей являются сетевые адаптеры. В настоящее время как для компьютеров пользователей, так и для серверов применяются сетевые адаптеры четвертого поколения, построенные на интегральных схемах ASIC (Application-Specific Integrated Circuit) и выполняющие большое количество высокоуровневых сетевых функций (приоритезация кадров, поддержка агента удаленного мониторинга, поддержка автоконфигурирования и т.п.). В серверных вариантах адаптеров используется процессор, разгружающий центральный процессор компьютеров. Кроме того, для серверов возможно использование сетевых сопроцессоров [5]. Однако значение задержек передачи ни на сетевых адаптерах, ни на сетевых сопроцессорах фирмы-производители не указывают. Пропускная способность и задержка передачи — независимые характеристики [1]. Если сетевой адаптер клиентского компьютера или сервера работает медленно, то никакие высокопроизводительные транспортные системы компьютерной сети не смогут снизить время ее реакции и повысить производительность в целом [6].

Передача пересылаемых пакетов из буфера оперативной памяти компьютера в аппаратный буфер сетевого адаптера требует временных затрат, независимо от наличия у адаптера канала прямого доступа к памяти (Direct Memory Access, DMA) или отсутствия такового, т.е. при передаче через общую шину компьютера [5]. Обмен информацией между оперативной памятью и аппаратным буфером адаптера может осуществляться одновременно с передачей в сегмент информации, ранее помещенной в буфер (конвейерная схема обработки кадров). В этой ситуации сложно установить, что принять за задержку передачи собственно сетевого адаптера, так как до момента помещения в его аппаратный буфер первого байта полезной информации (в случае IP-пакета — первого байта заголовка) в буфер необходимо поместить шесть байтов MAC-адреса назначения, шесть байтов MAC-адреса источника и минимум два байта с размером кадра [1, 2]. Вывод информации в сегмент начинается с последовательной передачи восьми байтов (преамбула и стартовый байт), а заканчивается передачей дополнительно четырех байтов контрольной суммы и выдержкой 12-байтового межкадрового интервала: если размер передаваемого IP-пакета составляет  $L_p$  байтов, то в сегмент передается  $L_p + 38$  байтов, на что необходимо потратить время, соответствующее  $8(L_p + 38)$  бит-таймам (bt) принятой технологии передачи информации. Для каналов Fast Ethernet длительность одного бит-тайма составляет 10 нс, для технологии Gigabit Ethernet — 1 нс. Необходимость измерений с

точностью до наносекунды усложняется еще и проблемой синхронизации, поскольку следует четко фиксировать байты какого-либо поля кадра [7]. Сложность синхронизации двух компьютеров препятствует применению прямых измерений временных интервалов при передаче информации между ними. В связи с этим управляющие процедуры и методы измерений основаны на определении времени двойного прохождения информации от компьютера-источника до компьютера-приемника и обратно (Round Trip Time, RTT) [2]. Так, широко распространенная утилита *ping* дает возможность вычислить значение RTT при прохождении пакета ICMP (Internet Control Message Protocol) между двумя хостами в сети. При этом могут варьироваться размер посылаемого пакета ICMP (размер эхо-запроса), число посылаемых эхо-запросов, интенсивность их посылки [8]. В ответ на каждый эхо-запрос запрашивающий компьютер получает эхо-ответ от запрашиваемого хоста. Содержимое полезной информации в эхо-ответе идентично содержимому в эхо-запросе. Сравнением информации в эхо-запросе и эхо-ответе устанавливается факт отсутствия потерь информации при передаче. В результате проведения серии измерений значения RTT утилита *ping* позволяет определить его минимальное (min), среднее (avg), максимальное (max) значения, среднеквадратичное отклонение (mdev), время выполнения серии посылок (time) и процент пакетов в серии, искаженных при пересылке. Точность измерений в утилите *ping* составляет миллисекунды, что достаточно для ее назначения [8]. Вместе с тем в работе [9] предложено существенное повышение точности измерений в утилите *ping* путем замены функции `gettimeofday()` функцией `clock_gettime()` в надлежащих программных модулях утилиты. С помощью такой модернизированной утилиты *nanoping* можно измерять значение RTT в наносекундах, что существенно расширяет диапазон возможных экспериментальных исследований в узлах и сегментах компьютерных сетей [10].

Предлагаемая методика оценки задержки передачи информации сетевыми адаптерами основана на известном соглашении о специализированном IP-адресе 127.0.0.1, именуемом *loopback* [1, 2, 4]. При таком адресе получателем информации является хост-источник. Особенность пересылки пакетов заключается в прямой передаче IP-пакета из одного буфера оперативной памяти в другой, минуя сетевой адаптер компьютера. Если измерить значение RTT при выполнении утилиты *nanoping* по адресу 127.0.0.1, то можно узнать задержку обработки отсылаемого и принимаемого пакета собственно в компьютере. Далее, осуществив кроссовую коммутацию двух сетевых адаптеров идентичных компьютеров, можно определить значение RTT при реализации утилиты *nanoping* с пересылкой пакета от компьютера-источника

обратно к компьютеру-приемнику. В предположении о симметричности проведения операций пересылки пакета через сетевой адаптер при передаче и приеме кадров половина разности замеров значения RTT дает оценку задержки в паре сетевых адаптеров. Для проверки предлагаемой методики оценки задержки в сетевых адаптерах были выбраны два идентичных компьютера, конфигурация которых приведена ниже в листинге:

Процессор

```
root@nodeN: # cat /proc/cpuinfo
processor : 0
vendor_id : GenuineIntel
cpu family : 15
model : 2
model name : Intel(R) Pentium(R) 4 CPU 2.40GHz
stepping : 9
cpu MHz : 2393.778
cache size : 512 KB
```

Оперативная память

```
root@nodeN: # cat /proc/meminfo
MemTotal: 347216 kB
```

Сетевая карта

```
root@nodeN: # dmesg
[ 1.437220] eth0: SiS 900 PCI Fast Ethernet at 0x8800, IRQ 19,
00:11:2f:40:42:e8
root@nodeN: # ethtool eth0
Settings for eth0:
Speed: 100Mb/s
Duplex: Full
```

На указанные компьютеры была установлена операционная система Linux, описание которой представлено ниже:

Операционная система

```
root@nodeN: # uname -a
Linux node1 2.6.32-21-generic-pae #32-Ubuntu SMP Fri Apr 16 09:39:35
UTC 2010 i686 GNU/Linux
root@nodeN: # lsb_release -a
No LSB modules are available.
Distributor ID: Ubuntu
Description: Ubuntu 10.04 LTS
Release: 10.04
Codename: lucid
```

Далее описаны настройки систем сетевых адаптеров для этих компьютеров:

Настройки систем

```
root@node1: # ifconfig
eth0 Link encap:EthernetHWaddr 00:11:2f:40:42:e8
inet addr:10.20.32.46 Bcast:10.20.32.255 Mask:255.255.255.0
```

```
...
lo Link encap:Local Loopback
inet addr:127.0.0.1 Mask:255.0.0.0
```

```
...
root@node2: # ifconfig
eth0 Link encap:EthernetHWaddr 00:11:2f:40:49:d4
inet addr:10.20.32.47 Bcast:10.20.32.255 Mask:255.255.255.0
```

```
...
lo Link encap:Local Loopback
inetaddr:127.0.0.1 Mask:255.0.0.0
```

...  
Экспериментальные исследования заключались в посылке эхо-запросов и в приеме эхо-ответов пакетов ICMP различной длительности с разной интенсивностью. Интервал между посылками пакетов назначался с таким расчетом, чтобы исключить возможную потерю пакетов вследствие блокировки ( $\Delta t = 0,01$  с). Размер пакетов ICMP варьировался в диапазоне значений 32...1460 байт. В процессе обмена информацией операционные системы указанных компьютеров не выполняли никаких других задач. Ниже приведены результаты выполнения утилиты *nanoping* для серий, состоящих из 10 000 пакетов каждая:

```
root@node1: # nanoping -i.01 -s32 -c10000 127.0.0.1
10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss
rtt min/avg/max/mdev = 15801/16798/109948/1107 ns
```

```
root@node1: # nanoping -i.01 -s32 -c10000 10.20.32.47
10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss
rtt min/avg/max/mdev = 62078/65240/175071/1392 ns
```

```
root@node1: # nanoping -i.01 -s64 -c10000 127.0.0.1
10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss
rtt min/avg/max/mdev = 15745/16710/103935/1019 ns
```

```
root@node1: # nanoping -i.01 -s64 -c10000 10.20.32.47
10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss
rtt min/avg/max/mdev = 68715/72181/2052027/19816 ns
```

```
root@node1: # nanoping -i.01 -s128 -c10000 127.0.0.1
10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss
rtt min/avg/max/mdev = 16323/17267/104533/1076 ns
```

```
root@node1: # nanoping -i.01 -s128 -c10000 10.20.32.47
10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss
rtt min/avg/max/mdev = 81679/85064/2038144/20069 ns
```

```
root@node1: # nanoping -i.01 -s256 -c10000 127.0.0.1
10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss
rtt min/avg/max/mdev = 16664/17660/101395/1005 ns
```

```
root@node1: # nanoping -i.01 -s256 -c10000 10.20.32.47
```

10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss  
rtt min/avg/max/mdev = 108180/111375/208010/1354 ns

```
root@node1: # nanoping -i.01 -s512 -c10000 127.0.0.1  
10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss  
rtt min/avg/max/mdev = 16720/18284/106401/1068 ns
```

```
root@node1: # nanoping -i.01 -s512 -c10000 10.20.32.47  
10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss  
rtt min/avg/max/mdev = 161489/164816/497557/3665 ns
```

```
root@node1: # nanoping -i.01 -s1024 -c10000 127.0.0.1  
10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss  
rtt min/avg/max/mdev = 19848/21292/106741/1188 ns
```

```
root@node1: # nanoping -i.01 -s1024 -c10000 10.20.32.47  
10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss  
rtt min/avg/max/mdev = 266331/269774/638385/4007 ns
```

```
root@node1: # nanoping -i.01 -s1460 -c10000 127.0.0.1  
10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss  
rtt min/avg/max/mdev = 21636/22898/108414/1124 ns
```

```
root@node1: # nanoping -i.01 -s1460 -c10000 10.20.32.47  
10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss  
rtt min/avg/max/mdev = 356626/360103/463648/1656 ns
```

Обработка результатов проводилась по следующему алгоритму.

1. Определение по длине пересылаемого и возвращаемого пакета ICMP размера IP-пакета  $L_p = L + 28$  и размера Ethernet-кадра (фрейма), байт:

$$L_f = L + 38 + 20 + 8 = L_p + 38,$$

где 20 — длина заголовка IP-пакета; 8 — длина заголовка эхо-запроса и эхо-ответа для пакета ICMP длиной  $L$ .

2. Установление суммарной длительности на пересылку эхо-запроса и эхо-ответа в Ethernet-кадрах

$$\tau_f = 16L_f\tau,$$

где  $\tau$  — длительность бит-тайма (10 нс для пропускной способности адаптеров 100 Мбит/с).

3. Расчет задержки в сетевом адаптере  $\Delta\tau$  на передачу и прием Ethernet-кадров с эхо-запросом и эхо-ответом. Из среднего значения RTT, полученного в результате отправки эхо-запроса по IP-адресу компьютера-приемника, вычитается среднее значение RTT, определенное при отправке эхо-запроса по loopback, и соответствующее значение  $\tau_f$ . Результат вычитания делится пополам и характеризует задержку в адаптере. Результаты расчетов для той же серии экспериментов приведены ниже:

$L$ , байт .....	32	64	128	256	512	1024	1460
$L_p$ , байт .....	60	92	156	284	540	1052	1488
$L_f$ , байт .....	98	130	194	332	578	1090	1526
$\tau_f$ , нс .....	15 120	20 240	30 480	52 560	91 920	173 840	243 600
$\Delta\tau$ , нс .....	16 661	17 615	18 658	20 577	27 306	37 321	46 802

Анализ величин  $\Delta\tau$  в зависимости от длины передаваемых IP-пакетов позволяет предположить линейную связь задержки  $\Delta\tau$  и размера  $L_p$ :  $\Delta\tau = AL_p + B$ , где  $A$  и  $B$  — коэффициенты, которые могут быть найдены методом наименьших квадратов при решении системы линейных уравнений

$$\sum_{i=1}^7 L_{pi}^2 + B \sum_{i=1}^7 L_{pi} = \sum_{i=1}^7 L_{pi} \Delta\tau_i;$$

$$A \sum_{i=1}^7 L_{pi} + 7B = \sum_{i=1}^7 \Delta\tau_i.$$

Решая систему, определяем следующие значения:  $A = 21,08$  нс/байт,  $B = 15487,6$  нс, т.е.  $\Delta\tau = 21,08L_p + 15487,6$  нс.

Сравнение теоретических значений RTT с экспериментальными средними (avg) значениями дает максимальную относительную погрешность 3,8%, что вполне приемлемо для проведения необходимых поверочных расчетов при проектировании локальных вычислительных сетей. Дополнительно точность полученной зависимости задержки  $\Delta\tau$  от размера пакета  $L_p$  проверялась при передаче и приеме эхо-запросов и эхо-ответов для сетевых адаптеров на скорости передачи данных 10 Мбит/с. Предполагалось, что задержки в адаптерах и средние значения RTT при выполнении утилиты *nanoping* по IP-адресу 127.0.0.1 постоянны. Изменяется только длительность бит-тайма ( $\tau = 100$  нс) и, следовательно, для тех же размеров пакетов ICMP в 10 раз возрастают значения суммарной длительности  $\tau_f$ . Результаты одной из серии замеров значения RTT при пропускной способности сетевых адаптеров 10 Мбит/с приведены ниже:

```
nanoping -i.01 -s32 -c10000 node2
10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss
rtt min/avg/max/mdev = 195682/199084/1311908/11182 ns

nanoping -i.01 -s64 -c10000 node2
10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss
rtt min/avg/max/mdev = 247310/251204/406310/1806 ns

nanoping -i.01 -s128 -c10000 node2
10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss
rtt min/avg/max/mdev = 353151/356408/608904/4455 ns

nanoping -i.01 -s256 -c10000 node2
10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss
```

rtt min/avg/max/mdev = 562917/566952/1028446/5856 ns

nanoping -i.01 -s512 -c10000 node2

10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss

rtt min/avg/max/mdev = 984919/988519/1506773/10078 ns

nanoping -i.01 -s1024 -c10000 node2

10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss

rtt min/avg/max/mdev = 1827941/1831586/1974663/1705 ns

nanoping -i.01 -s1460 -c10000 node2

10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss

rtt min/avg/max/mdev = 2545479/2549514/2981663/6433 ns

Экспериментальные и расчетные значения РТТ при пропускной способности адаптеров 10 Мбит/с, определенные по приведенной выше формуле, путем удваивания значения  $\Delta\tau$ , его суммированием с новым значением  $\tau_f$  и предыдущим значением РТТ, вычисленным в результате посылки эхо-запросов по looback, представлены ниже:

$L$ , байт.....	32	64	128	256	512	1024	1460
$L_p$ , байт .....	60	92	156	284	540	1052	1486
РТТ <sub>p</sub> , нс .....	201334	253795	359450	586039	991054	1834846	2552432
РТТ, нс .....	199084	251204	356408	566952	988519	1831586	2549514

Максимальная относительная погрешность сравнения расчетных и экспериментальных значений РТТ не превышает 3,3 %, что дает основание для вывода о работоспособности предложенной методики оценки задержки передачи информации сетевыми адаптерами в компьютерных сетях с технологией Ethernet на канальном уровне эталонной модели ISO/OSI.

Отдельный интерес может представлять анализ зависимости  $\Delta\tau(L_p)$ . Коэффициент  $B = 15487,6$  нс характеризует временные задержки в паре сетевых адаптеров компьютера-источника и компьютера-приемника на выполнение операций, связанных с “обрамлением” IP-пакета байтами кадра. Если учесть, что при приеме кадра требуется лишь обновление ARP-таблицы, то значение этого коэффициента задержки можно отнести на долю компьютера-источника. Коэффициент  $A = 21,08$  нс/байт описывает скорость обмена информацией между оперативной памятью и аппаратным буфером сетевого адаптера.

Несомненное достоинство предлагаемой методики — ее простота и доступность для администраторов компьютерных сетей любых масштабов, имеющих возможность организации кроссовой связи двух идентичных компьютеров, являющихся оконечными узлами.



## ЛИТЕРАТУРА

1. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Компьютерные сети. СПб.: Питер, 2011. 944 с.
2. *Таненбаум Э.* Компьютерные сети. СПб.: Питер, 2009. 992 с.
3. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Новые технологии и оборудование IP-сетей. СПб.: БХВ, 2000.
4. *Филимонов А.Ю.* Построение мультисервисных сетей Ethernet. СПб.: БХВ, 2007. 592 с.
5. *Таненбаум Э.* Архитектура компьютера. СПб.: Питер, 2010. 844 с.
6. *Столлинс В.* Современные компьютерные сети. СПб.: Питер, 2003. 782 с.
7. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Основы компьютерных сетей. СПб.: Питер, 2009. 352 с.
8. *Фейт С.* TCP/IP. Архитектура, протоколы, реализация (включая Ipv6 и IP-Security). М.: Лори, 2009. 424 с.
9. *Иванов И.П., Кондратьев А.Ю., Лохтуров В.А.* Модернизация процесса измерений интервалов времени в операционных системах современных компьютеров // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Приборостроение. 2012. № 4. С. 44–59.
10. *Бойченко М.К., Иванов И.П., Колобаев Л., Лохтуров В.А.* Разработка математических моделей восходящих и нисходящих информационных потоков в коммутируемых корпоративных сетях. Отчет о НИР 01.07.05. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007.

## REFERENCES

- [1] Olifer V.G., Olifer N.A. Komp'yuternye seti [Computer networks]. St. Petersburg, Piter Publ., 2011. 944 p.
- [2] Tanenbaum A.S. Computer networks. Pearson Education, 2002. 891 p. (Russ. ed.: Tanenbaum E.S. Komp'yuternye seti. St. Petersburg, Piter Publ., 2009. 992 p.).
- [3] Olifer V.G., Olifer N.A. Novye tekhnologii i oborudovanie IP-setey [New technologies and equipment for IP-based networks]. St. Petersburg, BKhV Publ., 2000. 672 p.
- [4] Filimonov A.Yu. Postroenie mul'tiservisnykh setey Ethernet [Construction of multi-service Ethernet networks]. St. Petersburg, BKhV Publ., 2007. 592 p.
- [5] Tanenbaum A.S. Structured computer organization. Prentice Hall, 2006. 777 p. (Russ. ed.: Tanenbaum E. Arkhitektura komp'yutera. St. Petersburg, Piter Publ., 2010. 844 p.).
- [6] Stallings W. High-Speed Networks and Internets. New Jersey, Prentice Hall, 2002. 715 p. (Russ. ed.: Stollings V. Sovremennye komp'yuternye seti. St. Petersburg, Piter Publ., 2003. 782 c.).
- [7] Olifer V.G., Olifer N.A. Osnovy komp'yuternykh setey [Principles of computer networks]. St. Petersburg, Piter Publ., 2009. 352 p.
- [8] Feit S. TCP/IP. Architecture, protocols, and implementation with Ipv6 and Ip security. McGraw-Hill, 1997. 577 p. (Russ. ed.: Feyt S. TCP/IP. Arkhitektura, protokoly, realizatsiya (vkluychaya Ipv6 i IPSecurity). Moscow, Lori Publ., 2009. 424 p.).
- [9] Ivanov I.P., Kondrat'ev A.Yu., Lokhturov V.A. Modernization of measurements of time intervals in operating systems of modern computers. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2012, no. 4, pp. 44–59 (in Russ.).
- [10] Boychenko M.K., Ivanov I.P., Kolobaev L., Lokhturov V.A. Razrabotka matematicheskikh modeley voskhodyashchikh i niskhodyashchikh informatsionnykh potokov v kommutiruemykh korporativnykh setyakh [Development of mathematical models of upward and downward flows of information in switched enterprise networks]. Research report, Moscow, MGTU im. N.E. Baumana Publ., 2007.

Статья поступила в редакцию 25.09.2013

Максим Константинович Бойченко — ведущий программист Лаборатории информационных технологий Управления информатизации – Вычислительный центр. Специалист в области информационно-коммуникационных технологий.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

M.K. Boichenko — leading programmer of the IT laboratory of the Administration on Informatization — Computing Center of the Bauman Moscow State Technical University. Specializes in the field of data-communication technologies.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Игорь Потапович Иванов — д-р техн. наук, проректор по информатизации и модернизации, заведующий кафедрой “Теоретическая информатика и компьютерные технологии” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 40 научных работ в области информационно-коммуникационных технологий.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

I.P. Ivanov — Dr. Sci. (Eng.), prorector in informatization and modernization of the Bauman Moscow State Technical University, head of “Theoretical Informatics and Computer Technologies” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 40 publications in the field of data-communication technologies.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Вячеслав Александрович Лохтуров — ведущий электроник Лаборатории автоматизированных информационных систем Управления информатизации — Вычислительный центр. Специалист в области информационно-коммуникационных технологий.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

V.A. Lokhturov — leading electronics engineer of the AIS laboratory of the Administration on Informatization — Computing Center of the Bauman Moscow State Technical University. Specializes in the field of data-communication technologies.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.