

## Тестирование платы HiFive Unleashed с ядром Linux 5.2.9

Тесты выполнялись в локальной сети Gigabit Ethernet без сторонней нагрузки. Устройства были подключены к одному коммутатору D-Link. Управление платой HiFive Unleashed выполнялось по протоколу SSH. На плате была установлена ОС Linux с [ядром версии 5.2.9](#), собранным специально для этой платы.

### Измерение производительности с помощью iperf3

Тесты выполнялись при установленных по умолчанию параметрах сетевых интерфейсов, показанных ниже.

#### Хост HiFive

```
root@freedom-u540:~# ethtool eth0
Settings for eth0:
    Supported ports: [ TP MII ]
    Supported link modes:   10baseT/Half 10baseT/Full
                           100baseT/Half 100baseT/Full
                           1000baseT/Half 1000baseT/Full
    Supported pause frame use: Symmetric Receive-only
    Supports auto-negotiation: Yes
    Supported FEC modes: Not reported
    Advertised link modes:  10baseT/Half 10baseT/Full
                           100baseT/Half 100baseT/Full
                           1000baseT/Half 1000baseT/Full
    Advertised pause frame use: No
    Advertised auto-negotiation: Yes
    Advertised FEC modes: Not reported
    Link partner advertised link modes:  10baseT/Half 10baseT/Full
                                         100baseT/Half 100baseT/Full
                                         1000baseT/Full
    Link partner advertised pause frame use: Symmetric
    Link partner advertised auto-negotiation: Yes
    Link partner advertised FEC modes: Not reported
    Speed: 1000Mb/s
    Duplex: Full
    Port: MII
    PHYAD: 0
    Transceiver: internal
    Auto-negotiation: on
    Link detected: yes
```

выполнялись в локальной сети Gigabit Ethernet без сторонней нагрузки. Устройства были подключены к одному коммутатору D-Link. Управление платой HiFive выполнялось по протоколу SSH.

#### Хост x86\_64

```
[root@Lhotze ~]# ethtool enp4s0
Settings for enp4s0:
    Supported ports: [ TP ]
    Supported link modes:   10baseT/Half 10baseT/Full
                           100baseT/Half 100baseT/Full
                           1000baseT/Full
    Supported pause frame use: Symmetric
    Supports auto-negotiation: Yes
    Supported FEC modes: Not reported
    Advertised link modes:  10baseT/Half 10baseT/Full
                           100baseT/Half 100baseT/Full
                           1000baseT/Full
    Advertised pause frame use: Symmetric
    Advertised auto-negotiation: Yes
    Advertised FEC modes: Not reported
    Speed: 1000Mb/s
    Duplex: Full
    Port: Twisted Pair
    PHYAD: 1
    Transceiver: internal
    Auto-negotiation: on
    MDI-X: off (auto)
    Supports Wake-on: pumbg
    Wake-on: g
    Current message level: 0x00000007 (7)
                           drv probe link
    Link detected: yes
```

Из приведенного вывода видно, что оба интерфейса работают в полнодуплексном режиме со скоростью линии 1000 Мбит/с.

Далее были выполнены два теста, в одном из которых хост HiFive выступал в качестве клиента, в другом был сервером. Скорость определялась с помощью программы iperf3 с принятыми по умолчанию параметрами (протокол TCP, скорость передачи не ограничена).

### Клиент HiFive

Вывод клиента

```
root@freedom-u540:~# iperf3 -c 192.168.0.10
Connecting to host 192.168.0.10, port 5201
[ 5] local 192.168.0.3 port 46756 connected to 192.168.0.10 port 5201
[ ID] Interval           Transfer     Bitrate      Retr  Cwnd
[ 5]  0.00-1.02      sec   15.1 MBytes  124 Mbits/sec    0   148 KBytes
[ 5]  1.02-2.03      sec   15.0 MBytes  125 Mbits/sec    0   157 KBytes
```

```
[ 5] 2.03-3.03 sec 15.0 MBytes 126 Mbits/sec 0 164 KBytes
[ 5] 3.03-4.04 sec 15.2 MBytes 126 Mbits/sec 0 181 KBytes
[ 5] 4.04-5.03 sec 15.0 MBytes 127 Mbits/sec 0 181 KBytes
[ 5] 5.03-6.01 sec 15.0 MBytes 128 Mbits/sec 0 181 KBytes
[ 5] 6.01-7.07 sec 16.2 MBytes 129 Mbits/sec 0 230 KBytes
[ 5] 7.07-8.06 sec 15.0 MBytes 127 Mbits/sec 0 230 KBytes
[ 5] 8.06-9.04 sec 15.0 MBytes 128 Mbits/sec 0 230 KBytes
[ 5] 9.04-10.03 sec 15.0 MBytes 127 Mbits/sec 0 230 KBytes
```

```
[ ID] Interval Transfer Bitrate Retr
[ 5] 0.00-10.03 sec 152 MBytes 127 Mbits/sec 0 sender
[ 5] 0.00-10.04 sec 152 MBytes 127 Mbits/sec receiver
```

iperf Done.  
Вывод сервера

```
[root@Lhotze src]# iperf3 -s
```

```
-----
Server listening on 5201
```

```
-----
Accepted connection from 192.168.0.3, port 46754
```

```
[ 5] local 192.168.0.10 port 5201 connected to 192.168.0.3 port 46756
[ ID] Interval Transfer Bitrate
[ 5] 0.00-1.00 sec 14.6 MBytes 123 Mbits/sec
[ 5] 1.00-2.00 sec 14.9 MBytes 125 Mbits/sec
[ 5] 2.00-3.00 sec 15.0 MBytes 126 Mbits/sec
[ 5] 3.00-4.00 sec 15.1 MBytes 126 Mbits/sec
[ 5] 4.00-5.00 sec 15.2 MBytes 127 Mbits/sec
[ 5] 5.00-6.00 sec 15.3 MBytes 129 Mbits/sec
[ 5] 6.00-7.00 sec 15.3 MBytes 129 Mbits/sec
[ 5] 7.00-8.00 sec 15.1 MBytes 127 Mbits/sec
[ 5] 8.00-9.00 sec 15.3 MBytes 128 Mbits/sec
[ 5] 9.00-10.00 sec 15.1 MBytes 127 Mbits/sec
[ 5] 10.00-10.04 sec 665 KBytes 128 Mbits/sec
```

```
[ ID] Interval Transfer Bitrate
[ 5] 0.00-10.04 sec 152 MBytes 127 Mbits/sec receiver
```

Результат показывает среднюю скорость обмена через сеть 127 Мбит/с, что составляет лишь 12,7% от номинальной скорости линии. Вариации скорости в процессе измерения невелики, а объем переданных данных составил 152 Мбайта, что позволяет считать результат измерения достаточно достоверным.

Для выяснения причин столь малой скорости меняем роли участвующих в тесте хостов - HiFive становится сервером, а x86\_64 - клиентом.

## Сервер HiFive

Вывод сервера

```
root@freedom-u540:~# iperf3 -s
```

```
-----
Server listening on 5201
```

```
-----
Accepted connection from 192.168.0.10, port 55746
```

```
[ 5] local 192.168.0.3 port 5201 connected to 192.168.0.10 port 55748
[ ID] Interval Transfer Bitrate
[ 5] 0.00-1.00 sec 26.2 MBytes 220 Mbits/sec
[ 5] 1.00-2.00 sec 25.9 MBytes 217 Mbits/sec
[ 5] 2.00-3.00 sec 25.6 MBytes 215 Mbits/sec
[ 5] 3.00-4.00 sec 26.2 MBytes 220 Mbits/sec
[ 5] 4.00-5.00 sec 25.9 MBytes 217 Mbits/sec
[ 5] 5.00-6.00 sec 29.8 MBytes 250 Mbits/sec
[ 5] 6.00-7.00 sec 28.5 MBytes 240 Mbits/sec
[ 5] 7.00-8.00 sec 25.8 MBytes 216 Mbits/sec
[ 5] 8.00-9.00 sec 26.1 MBytes 219 Mbits/sec
[ 5] 9.00-10.00 sec 25.8 MBytes 217 Mbits/sec
[ 5] 10.00-10.02 sec 580 KBytes 259 Mbits/sec
```

```
[ ID] Interval Transfer Bitrate
[ 5] 0.00-10.02 sec 266 MBytes 223 Mbits/sec receiver
```

```
-----
Server listening on 5201
```

Вывод клиента

```
[root@Lhotze src]# iperf3 -c 192.168.0.3
```

```
Connecting to host 192.168.0.3, port 5201
```

```
[ 5] local 192.168.0.10 port 55748 connected to 192.168.0.3 port 5201
[ ID] Interval Transfer Bitrate Retr Cwnd
[ 5] 0.00-1.00 sec 28.9 MBytes 242 Mbits/sec 27 527 KBytes
[ 5] 1.00-2.00 sec 26.2 MBytes 220 Mbits/sec 0 595 KBytes
[ 5] 2.00-3.00 sec 26.2 MBytes 220 Mbits/sec 0 645 KBytes
[ 5] 3.00-4.00 sec 26.2 MBytes 220 Mbits/sec 1 485 KBytes
[ 5] 4.00-5.00 sec 25.0 MBytes 210 Mbits/sec 0 522 KBytes
[ 5] 5.00-6.00 sec 30.0 MBytes 252 Mbits/sec 0 563 KBytes
[ 5] 6.00-7.00 sec 28.8 MBytes 241 Mbits/sec 0 601 KBytes
[ 5] 7.00-8.00 sec 26.2 MBytes 220 Mbits/sec 0 634 KBytes
[ 5] 8.00-9.00 sec 25.0 MBytes 210 Mbits/sec 1 471 KBytes
[ 5] 9.00-10.00 sec 26.2 MBytes 220 Mbits/sec 0 542 KBytes
```

```
[ ID] Interval Transfer Bitrate Retr
[ 5] 0.00-10.00 sec 269 MBytes 226 Mbits/sec 29 sender
[ 5] 0.00-10.02 sec 266 MBytes 223 Mbits/sec receiver
```

iperf Done.

В этом случае скорость получается почти вдвое выше, но все равно составляет лишь 22,3% от номинальной. Однако при внимательном рассмотрении вывода видно, что используемое отправителем (клиент) окно контроля насыщения TCP (правый столбец вывода на стороне клиента - Cwnd) существенно отличалось. Клиент HiFive задавал cwnd от 148 до 230 кбайт, а клиент x86\_64 - от 471 до 645 кбайт. Это наводит на мысль о том, что скорость, определяемая iperf3 ограничивалась не на физическом или канальном уровне, а на транспортном (TCP). Отметим это и двинемся дальше.

## Зависимость от физических параметров интерфейсов

Устанавливаем на сервере HiFive скорость сетевого интерфейса 100 и 10 Мбит/с и повторяем тесты. Параметры интерфейса на клиенте не изменяются.

Вывод сервера

```
root@freedom-u540:~# ethtool -s eth0 speed 100 autoneg off

root@freedom-u540:~# iperf3 -s
-----
Server listening on 5201
-----
Accepted connection from 192.168.0.10, port 38296
[ 5] local 192.168.0.3 port 5201 connected to 192.168.0.10 port 38298
[ ID] Interval          Transfer          Bitrate
[ 5] 0.00-1.00      sec    5.72 MBytes    48.0 Mbits/sec
[ 5] 1.00-2.00      sec    8.22 MBytes    68.9 Mbits/sec
[ 5] 2.00-3.00      sec    7.27 MBytes    61.0 Mbits/sec
[ 5] 3.00-4.00      sec    7.28 MBytes    61.1 Mbits/sec
[ 5] 4.00-5.00      sec    8.61 MBytes    72.1 Mbits/sec
[ 5] 5.00-6.00      sec    8.09 MBytes    67.9 Mbits/sec
[ 5] 6.00-7.00      sec    8.16 MBytes    68.4 Mbits/sec
[ 5] 7.00-8.00      sec    7.27 MBytes    61.0 Mbits/sec
[ 5] 8.00-9.00      sec    7.32 MBytes    61.2 Mbits/sec
[ 5] 9.00-10.00     sec    8.92 MBytes    75.0 Mbits/sec
[ 5] 10.00-10.00    sec    31.1 KBytes    78.1 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval          Transfer          Bitrate
[ 5] 0.00-10.00     sec    76.9 MBytes    64.5 Mbits/sec
-----
Server listening on 5201
```

Вывод клиента

```
[root@Lhotze src]# iperf3 -c 192.168.0.3
Connecting to host 192.168.0.3, port 5201
[ 5] local 192.168.0.10 port 38298 connected to 192.168.0.3 port 5201
[ ID] Interval          Transfer          Bitrate          Retr  Cwnd
[ 5] 0.00-1.00      sec    6.79 MBytes    56.9 Mbits/sec    0    267 KBytes
[ 5] 1.00-2.00      sec    9.64 MBytes    80.9 Mbits/sec    0    494 KBytes
[ 5] 2.00-3.00      sec    7.26 MBytes    60.9 Mbits/sec    0    494 KBytes
[ 5] 3.00-4.00      sec    6.90 MBytes    57.9 Mbits/sec    0    494 KBytes
[ 5] 4.00-5.00      sec    8.26 MBytes    69.3 Mbits/sec    0    494 KBytes
[ 5] 5.00-6.00      sec    9.13 MBytes    76.6 Mbits/sec    0    494 KBytes
[ 5] 6.00-7.00      sec    8.02 MBytes    67.2 Mbits/sec    0    494 KBytes
[ 5] 7.00-8.00      sec    6.96 MBytes    58.4 Mbits/sec    0    494 KBytes
[ 5] 8.00-9.00      sec    6.52 MBytes    54.7 Mbits/sec    0    494 KBytes
[ 5] 9.00-10.00     sec    9.26 MBytes    77.7 Mbits/sec    0    494 KBytes
-----
[ ID] Interval          Transfer          Bitrate          Retr
[ 5] 0.00-10.00     sec    78.7 MBytes    66.1 Mbits/sec    0
[ 5] 0.00-10.00     sec    76.9 MBytes    64.5 Mbits/sec
-----
sender
receiver
```

iperf Done.

При работе сетевого интерфейса на сервере HiFive со скоростью 100 Мбит/с средняя скорость обмена составила 64,5 Мбит/с или 64,5% от номинальной скорости более медленного интерфейса. Размер окна cwnd при этом в течение 9 из 10 интервалов измерения был постоянным (494 кбайта) и лишь в первом интервале составил 267 кбайт.

Устанавливаем на интерфейсе сервера HiFive скорость 10 Мбит/с и повторяем тест.

Вывод сервера

```
root@freedom-u540:~# ethtool -s eth0 speed 10 autoneg off

root@freedom-u540:~# iperf3 -s
-----
Server listening on 5201
-----
Accepted connection from 192.168.0.10, port 38330
[ 5] local 192.168.0.3 port 5201 connected to 192.168.0.10 port 38332
[ ID] Interval          Transfer          Bitrate
[ 5] 0.00-1.00      sec    546 KBytes    4.47 Mbits/sec
[ 5] 1.00-2.00      sec    785 KBytes    6.42 Mbits/sec
[ 5] 2.00-3.00      sec    993 KBytes    8.13 Mbits/sec
[ 5] 3.00-4.00      sec    998 KBytes    8.17 Mbits/sec
[ 5] 4.00-5.00      sec    998 KBytes    8.18 Mbits/sec
[ 5] 5.00-6.00      sec    993 KBytes    8.13 Mbits/sec
[ 5] 6.00-7.00      sec    1001 KBytes    8.20 Mbits/sec
[ 5] 7.00-8.00      sec    994 KBytes    8.14 Mbits/sec
[ 5] 8.00-9.00      sec    996 KBytes    8.15 Mbits/sec
[ 5] 9.00-10.00     sec    1003 KBytes    8.22 Mbits/sec
[ 5] 10.00-10.01    sec    7.07 KBytes    7.71 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval          Transfer          Bitrate
```

```
[ 5] 0.00-10.01 sec 9.09 MBytes 7.62 Mbits/sec receiver
```

```
Server listening on 5201
```

Вывод клиента

```
[root@Lhotze src]# iperf3 -c 192.168.0.3
Connecting to host 192.168.0.3, port 5201
[ 5] local 192.168.0.10 port 38332 connected to 192.168.0.3 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Retr  Cwnd
[ 5] 0.00-1.00    sec          730 KBytes    5.98 Mbits/sec  0    41.0 KBytes
[ 5] 1.00-2.00    sec          840 KBytes    6.88 Mbits/sec  0    65.0 KBytes
[ 5] 2.00-3.00    sec          1.09 MBytes   9.18 Mbits/sec  0    65.0 KBytes
[ 5] 3.00-4.00    sec          902 KBytes    7.39 Mbits/sec  0    65.0 KBytes
[ 5] 4.00-5.00    sec          1.09 MBytes   9.18 Mbits/sec  0    65.0 KBytes
[ 5] 5.00-6.00    sec          933 KBytes    7.65 Mbits/sec  0    65.0 KBytes
[ 5] 6.00-7.00    sec          933 KBytes    7.65 Mbits/sec  0    65.0 KBytes
[ 5] 7.00-8.00    sec          933 KBytes    7.65 Mbits/sec  0    65.0 KBytes
[ 5] 8.00-9.00    sec          1.09 MBytes   9.18 Mbits/sec  0    65.0 KBytes
[ 5] 9.00-10.00   sec          933 KBytes    7.64 Mbits/sec  0    65.0 KBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Retr
[ 5] 0.00-10.00   sec          9.34 MBytes   7.84 Mbits/sec  0
[ 5] 0.00-10.01   sec          9.09 MBytes   7.62 Mbits/sec
sender
receiver
```

iperf Done.

В этом случае скорость обмена составила 7,62 Мбит/с или 72,6% от номинальной скорости более медленного интерфейса. Окно насыщения во всех интервалах измерения кроме первого имело размер 65 кбайт, а в первом интервале - 41 кбайт.

Из приведенного выше вывода очевидно, что во всех вариантах теста скорость обмена по сети была существенно ниже номинальной скорости линии, определяемой более медленным интерфейсом. Особенно сильно это проявлялось при скорости 1000 Мбит/с.

Далее были выполнены измерения с помощью программы iperf на клиенте HiFive (сервером служила программа iperf3) на скорости интерфейса 10, 100 и 1000 Мбит/с с заданием в каждом случае максимальной скорости передачи клиента (опция -b) в соответствии с номинальной скоростью линии.

1000 Мбит/с

```
root@freedom-u540:~# iperf -p 5201 -b 1G -c 192.168.0.10
-----
Client connecting to 192.168.0.10, TCP port 5201
TCP window size: 85.0 KByte (default)
-----
[ 3] local 192.168.0.3 port 46780 connected with 192.168.0.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 3] 0.0-10.0 sec   222 MBytes    186 Mbits/sec
```

100 Мбит/с

```
root@freedom-u540:~# ethtool -s eth0 speed 100 autoneg off
root@freedom-u540:~# iperf -p 5201 -b 100M -c 192.168.0.10
-----
Client connecting to 192.168.0.10, TCP port 5201
TCP window size: 85.0 KByte (default)
-----
[ 3] local 192.168.0.3 port 46782 connected with 192.168.0.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 3] 0.0-10.0 sec   52.4 MBytes    43.9 Mbits/sec
```

10 Мбит/с

```
root@freedom-u540:~# ethtool -s eth0 speed 10 autoneg off
root@freedom-u540:~# iperf -p 5201 -b 10M -c 192.168.0.10
-----
Client connecting to 192.168.0.10, TCP port 5201
TCP window size: 85.0 KByte (default)
-----
[ 3] local 192.168.0.3 port 46786 connected with 192.168.0.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 3] 0.0-10.0 sec   9.00 MBytes    7.54 Mbits/sec
```

И снова, как в случае iperf3 измеренная скорость существенно ниже номинальной скорости линии, а относительная скорость растет при снижении скорости более медленного интерфейса

После этого была восстановлена скорость 1000 Мбит/с на интерфейсе хоста HiFive и менялась скорость интерфейса на сервере (100 и 10 Мбит/с), при этом клиенту iperf на хосте HiFive задавалась полная скорость (1000 Мбит/с)

Сервер 100 Мбит/с

```
-----
Client connecting to 192.168.0.10, TCP port 5201
TCP window size: 102 KByte (default)
-----
[ 3] local 192.168.0.3 port 46788 connected with 192.168.0.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 3] 0.0-10.0 sec   42.5 MBytes    35.6 Mbits/sec
```

Сервер 10 Мбит/с

```
root@freedom-u540:~# iperf -p 5201 -b 1G -c 192.168.0.10
```

```
-----
Client connecting to 192.168.0.10, TCP port 5201
TCP window size: 85.0 KByte (default)
-----
```

```
[ 3] local 192.168.0.3 port 46790 connected with 192.168.0.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 3] 0.0-10.1 sec   4.50 MBytes   3.73 Mbits/sec
```

Скорость обмена через сеть в обоих случаях не достигала и 40% от номинальной скорости линии у клиента.

## Зависимость от скорости передачи на стороне клиента

Далее была восстановлены принятые по умолчанию настройки обоих сетевых интерфейсов (полнодуплексный режим, 1000 Мбит/с) и менялась скорость передачи пакетов на уровне клиента HiFive. Напомним, что по умолчанию iperf3 для тестов TCP использует полную скорость линии.

Приводится вывод лишь клиентской стороны, поскольку он более информативен.

Скорость передачи на стороне клиента 1000 Мбит/с

```
root@freedom-u540:~# iperf3 -c 192.168.0.10 -b 1000M
Connecting to host 192.168.0.10, port 5201
[ 5] local 192.168.0.3 port 56086 connected to 192.168.0.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Retr  Cwnd
[ 5] 0.00-1.00    sec   16.4 MBytes   137 Mbits/sec    0   158 KBytes
[ 5] 1.00-2.00    sec   16.4 MBytes   137 Mbits/sec    0   158 KBytes
[ 5] 2.00-3.01    sec   16.6 MBytes   139 Mbits/sec    0   158 KBytes
[ 5] 3.01-4.00    sec   16.2 MBytes   137 Mbits/sec    0   158 KBytes
[ 5] 4.00-5.00    sec   16.4 MBytes   137 Mbits/sec    0   167 KBytes
[ 5] 5.00-6.01    sec   16.5 MBytes   138 Mbits/sec    0   167 KBytes
[ 5] 6.01-7.00    sec   16.4 MBytes   138 Mbits/sec    0   167 KBytes
[ 5] 7.00-8.00    sec   16.5 MBytes   139 Mbits/sec    0   167 KBytes
[ 5] 8.00-9.00    sec   16.4 MBytes   137 Mbits/sec    0   167 KBytes
[ 5] 9.00-10.00   sec   16.5 MBytes   139 Mbits/sec    0   167 KBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Retr
[ 5] 0.00-10.00   sec   164 MBytes   138 Mbits/sec    0
[ 5] 0.00-10.01   sec   164 MBytes   138 Mbits/sec    0
sender
receiver
```

iperf Done.

Постепенное снижение скорости передачи на клиенте от 1000 до 140 Мбит/с давало близкие результаты со средней скоростью обмена чуть меньше 140 Мбит/с. Однако при скорости передачи клиента меньше 140 Мбит/с средняя скорость обмена между клиентом уже совпала со скоростью передачи.

Скорость передачи на стороне клиента 140 Мбит/с

```
root@freedom-u540:~# iperf3 -c 192.168.0.10 -b 140M
Connecting to host 192.168.0.10, port 5201
[ 5] local 192.168.0.3 port 56110 connected to 192.168.0.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Retr  Cwnd
[ 5] 0.00-1.00    sec   16.5 MBytes   138 Mbits/sec    0   153 KBytes
[ 5] 1.00-2.00    sec   16.5 MBytes   138 Mbits/sec    0   168 KBytes
[ 5] 2.00-3.00    sec   16.4 MBytes   138 Mbits/sec    0   177 KBytes
[ 5] 3.00-4.01    sec   16.5 MBytes   138 Mbits/sec    0   177 KBytes
[ 5] 4.01-5.00    sec   16.2 MBytes   137 Mbits/sec    0   177 KBytes
[ 5] 5.00-6.00    sec   16.4 MBytes   137 Mbits/sec    0   177 KBytes
[ 5] 6.00-7.00    sec   16.4 MBytes   137 Mbits/sec    0   177 KBytes
[ 5] 7.00-8.01    sec   16.5 MBytes   138 Mbits/sec    0   177 KBytes
[ 5] 8.01-9.00    sec   16.1 MBytes   136 Mbits/sec    0   177 KBytes
[ 5] 9.00-10.01   sec   16.4 MBytes   137 Mbits/sec    0   177 KBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Retr
[ 5] 0.00-10.01   sec   164 MBytes   137 Mbits/sec    0
[ 5] 0.00-10.01   sec   164 MBytes   137 Mbits/sec    0
sender
receiver
```

iperf Done.

Скорость передачи на стороне клиента 130 Мбит/с

```
root@freedom-u540:~# iperf3 -c 192.168.0.10 -b 130M
Connecting to host 192.168.0.10, port 5201
[ 5] local 192.168.0.3 port 56114 connected to 192.168.0.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Retr  Cwnd
[ 5] 0.00-1.00    sec   15.5 MBytes   130 Mbits/sec    0   158 KBytes
[ 5] 1.00-2.00    sec   15.5 MBytes   130 Mbits/sec    0   158 KBytes
[ 5] 2.00-3.00    sec   15.5 MBytes   130 Mbits/sec    0   158 KBytes
[ 5] 3.00-4.00    sec   15.5 MBytes   130 Mbits/sec    0   167 KBytes
[ 5] 4.00-5.00    sec   15.5 MBytes   130 Mbits/sec    0   167 KBytes
[ 5] 5.00-6.00    sec   15.5 MBytes   130 Mbits/sec    0   167 KBytes
[ 5] 6.00-7.00    sec   15.5 MBytes   130 Mbits/sec    0   167 KBytes
[ 5] 7.00-8.00    sec   15.5 MBytes   130 Mbits/sec    0   167 KBytes
[ 5] 8.00-9.00    sec   15.5 MBytes   130 Mbits/sec    0   167 KBytes
[ 5] 9.00-10.00   sec   15.5 MBytes   130 Mbits/sec    0   167 KBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Retr
[ 5] 0.00-10.00   sec   155 MBytes   130 Mbits/sec    0
[ 5] 0.00-10.01   sec   155 MBytes   130 Mbits/sec    0
sender
receiver
```

iperf Done.

Скорость передачи на стороне клиента 100 Мбит/с

```
root@freedom-u540:~# iperf3 -c 192.168.0.10 -b 100M
Connecting to host 192.168.0.10, port 5201
[ 5] local 192.168.0.3 port 56126 connected to 192.168.0.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Retr  Cwnd
[ 5]  0.00-1.00    sec  12.0 MBytes  100 Mb/s     0    151 K
[ 5]  1.00-2.00    sec  11.9 MBytes  99.9 Mb/s    0    151 K
[ 5]  2.00-3.01    sec  12.0 MBytes  100 Mb/s     0    151 K
[ 5]  3.01-4.00    sec  11.9 MBytes  100 Mb/s     0    151 K
[ 5]  4.00-5.00    sec  11.9 MBytes  99.6 Mb/s    0    151 K
[ 5]  5.00-6.01    sec  12.0 MBytes  100 Mb/s     0    151 K
[ 5]  6.01-7.00    sec  11.9 MBytes  100 Mb/s     0    151 K
[ 5]  7.00-8.01    sec  12.0 MBytes  100 Mb/s     0    151 K
[ 5]  8.01-9.00    sec  11.9 MBytes  99.9 Mb/s    0    151 K
[ 5]  9.00-10.00   sec  11.9 MBytes  99.7 Mb/s    0    151 K

[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Retr
[ 5]  0.00-10.00   sec  119 MBytes  100 Mb/s     0
[ 5]  0.00-10.01   sec  119 MBytes  99.9 Mb/s    0
                                sender
                                receiver

iperf Done.
```

Скорость передачи на стороне клиента 50 Мбит/с

```
root@freedom-u540:~# iperf3 -c 192.168.0.10 -b 50M
Connecting to host 192.168.0.10, port 5201
[ 5] local 192.168.0.3 port 56130 connected to 192.168.0.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Retr  Cwnd
[ 5]  0.00-1.00    sec  5.98 MBytes  50.1 Mb/s    0    130 K
[ 5]  1.00-2.00    sec  6.00 MBytes  50.3 Mb/s    0    130 K
[ 5]  2.00-3.00    sec  6.00 MBytes  50.2 Mb/s    0    130 K
[ 5]  3.00-4.00    sec  5.88 MBytes  49.5 Mb/s    0    130 K
[ 5]  4.00-5.00    sec  6.00 MBytes  50.3 Mb/s    0    130 K
[ 5]  5.00-6.00    sec  6.00 MBytes  50.2 Mb/s    0    130 K
[ 5]  6.00-7.00    sec  5.88 MBytes  49.4 Mb/s    0    130 K
[ 5]  7.00-8.00    sec  6.00 MBytes  50.3 Mb/s    0    130 K
[ 5]  8.00-9.01    sec  6.00 MBytes  50.1 Mb/s    0    130 K
[ 5]  9.01-10.00   sec  5.88 MBytes  49.5 Mb/s    0    130 K

[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Retr
[ 5]  0.00-10.00   sec  59.6 MBytes  50.0 Mb/s    0
[ 5]  0.00-10.01   sec  59.6 MBytes  50.0 Mb/s    0
                                sender
                                receiver

iperf Done.
```

Скорость передачи на стороне клиента 10 Мбит/с

```
root@freedom-u540:~# iperf3 -c 192.168.0.10 -b 10M
Connecting to host 192.168.0.10, port 5201
[ 5] local 192.168.0.3 port 56134 connected to 192.168.0.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Retr  Cwnd
[ 5]  0.00-1.00    sec  1.25 MBytes  10.5 Mb/s    0    72.1 K
[ 5]  1.00-2.00    sec  1.25 MBytes  10.5 Mb/s    0    123 K
[ 5]  2.00-3.00    sec  1.12 MBytes  9.44 Mb/s    0    130 K
[ 5]  3.00-4.00    sec  1.25 MBytes  10.5 Mb/s    0    130 K
[ 5]  4.00-5.00    sec  1.12 MBytes  9.44 Mb/s    0    130 K
[ 5]  5.00-6.00    sec  1.25 MBytes  10.5 Mb/s    0    130 K
[ 5]  6.00-7.00    sec  1.12 MBytes  9.44 Mb/s    0    130 K
[ 5]  7.00-8.00    sec  1.25 MBytes  10.5 Mb/s    0    130 K
[ 5]  8.00-9.00    sec  1.12 MBytes  9.44 Mb/s    0    130 K
[ 5]  9.00-10.00   sec  1.25 MBytes  10.5 Mb/s    0    130 K

[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Retr
[ 5]  0.00-10.00   sec  12.0 MBytes  10.1 Mb/s    0
[ 5]  0.00-10.01   sec  12.0 MBytes  10.1 Mb/s    0
                                sender
                                receiver

iperf Done.
```

Аналогичные тесты в обратном направлении дали похожий результат. При скоростях от 1000 Мбит/с до средней скорости, которая обеспечивалась при отсутствии ограничений, скорость сетевого обмена практически не менялась и была ниже скорости передачи, установленной для клиента, а после достижения этого порога скорость обмена между клиентом и сервером в точности совпадала со скоростью передачи, заданной на клиентской стороне.

Это позволяет с уверенностью считать, что результаты измерения скорости обмена по протоколу TCP определяются прежде всего параметрами TCP, а не физическими параметрами интерфейсов хостов и производительностью процессоров. Асимметрия скорости (при смене ролей клиента и сервера) объясняется разными настройками протокола TCP на двух хостах.

## Дополнительные измерения

Заключительным был эксперимент по измерению скорости с помощью iperf3 через Internet, когда между сервером и клиентом присутствовало неопределенное число маршрутизаторов. На сервере пропускная способность ограничена значением 100 Мбит/с.

Вывод клиента

```
root@freedom-u540:~# iperf3 -c protocols.ru
Connecting to host nmalykh.org, port 5201
[ 5] local 192.168.0.3 port 44460 connected to 185.147.80.144 port 5201
```

```
[ ID] Interval          Transfer          Bitrate          Retr  Cwnd
[ 5] 0.00-1.00    sec    12.6 MBytes    106 Mbits/sec    45   355 KBytes
[ 5] 1.00-2.01    sec    11.5 MBytes    95.6 Mbits/sec    0    412 KBytes
[ 5] 2.01-3.00    sec    10.8 MBytes    91.2 Mbits/sec    5    320 KBytes
[ 5] 3.00-4.00    sec    11.4 MBytes    95.8 Mbits/sec    0    345 KBytes
[ 5] 4.00-5.00    sec    11.8 MBytes    98.9 Mbits/sec    0    362 KBytes
[ 5] 5.00-6.00    sec    10.9 MBytes    91.7 Mbits/sec    0    384 KBytes
[ 5] 6.00-7.00    sec    11.5 MBytes    96.3 Mbits/sec    0    406 KBytes
[ 5] 7.00-8.00    sec    11.5 MBytes    96.3 Mbits/sec    0    427 KBytes
[ 5] 8.00-9.00    sec    11.1 MBytes    93.2 Mbits/sec    8    342 KBytes
[ 5] 9.00-10.00   sec    11.5 MBytes    96.9 Mbits/sec    0    384 KBytes
-----
[ ID] Interval          Transfer          Bitrate          Retr
[ 5] 0.00-10.00   sec    115 MBytes    96.2 Mbits/sec    58
[ 5] 0.00-10.00   sec    114 MBytes    95.3 Mbits/sec
```

iperf Done.

Вывод сервера

```
[root@nmalykh nmalykh]# iperf3 -s
-----
Server listening on 5201
-----
Accepted connection from 91.122.87.84, port 44458
[ 5] local 185.147.80.144 port 5201 connected to 91.122.87.84 port 44460
[ ID] Interval          Transfer          Bandwidth
[ 5] 0.00-1.00    sec    11.1 MBytes    93.0 Mbits/sec
[ 5] 1.00-2.00    sec    11.4 MBytes    95.4 Mbits/sec
[ 5] 2.00-3.00    sec    11.4 MBytes    95.4 Mbits/sec
[ 5] 3.00-4.00    sec    11.4 MBytes    95.4 Mbits/sec
[ 5] 4.00-5.00    sec    11.4 MBytes    95.4 Mbits/sec
[ 5] 5.00-6.00    sec    11.4 MBytes    95.4 Mbits/sec
[ 5] 6.00-7.00    sec    11.4 MBytes    95.4 Mbits/sec
[ 5] 7.00-8.00    sec    11.4 MBytes    95.4 Mbits/sec
[ 5] 8.00-9.00    sec    11.4 MBytes    95.4 Mbits/sec
[ 5] 9.00-10.00   sec    11.4 MBytes    95.4 Mbits/sec
[ 5] 10.00-10.01  sec    142 KBytes    94.3 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval          Transfer          Bandwidth
[ 5] 0.00-10.01   sec    0.00 Bytes    0.00 bits/sec
[ 5] 0.00-10.01   sec    114 MBytes    95.2 Mbits/sec
-----
Server listening on 5201
-----
```

Здесь скорость обмена практически явно ограничивалась на уровнях 3 и 4 модели OSI (механизм ограничения пропускной способности на хосте protocols.ru точно не известен), поэтому скорость обмена фактически совпадала с номинальной скоростью линии.

Для сравнения ниже представлен результат измерения скорости обмена между двумя хостами с одной операционной системой (Mageia 7.1) в той же ЛВС. На обоих хостах сетевые интерфейсы использовали принятые по умолчанию параметры. Результаты измерений в том и другом направлении практически не отличались, поэтому приведен лишь вывод на стороне клиента для одного из направлений.

```
[root@Lhotze ~]# iperf3 -c 192.168.0.6
Connecting to host 192.168.0.6, port 5201
[ 5] local 192.168.0.10 port 54170 connected to 192.168.0.6 port 5201
[ ID] Interval          Transfer          Bitrate          Retr  Cwnd
[ 5] 0.00-1.00    sec    107 MBytes    895 Mbits/sec    0    696 KBytes
[ 5] 1.00-2.00    sec    104 MBytes    870 Mbits/sec    0    769 KBytes
[ 5] 2.00-3.00    sec    105 MBytes    881 Mbits/sec    0    850 KBytes
[ 5] 3.00-4.00    sec    104 MBytes    870 Mbits/sec    0    935 KBytes
[ 5] 4.00-5.00    sec    104 MBytes    870 Mbits/sec    0    984 KBytes
[ 5] 5.00-6.00    sec    104 MBytes    870 Mbits/sec    0    984 KBytes
[ 5] 6.00-7.00    sec    104 MBytes    870 Mbits/sec    0    1.01 MBytes
[ 5] 7.00-8.00    sec    104 MBytes    870 Mbits/sec    0    1.01 MBytes
[ 5] 8.00-9.00    sec    104 MBytes    870 Mbits/sec    0    1.01 MBytes
[ 5] 9.00-10.00   sec    104 MBytes    870 Mbits/sec    0    1.01 MBytes
-----
[ ID] Interval          Transfer          Bitrate          Retr
[ 5] 0.00-10.00   sec    1.02 GBytes    874 Mbits/sec    0
[ 5] 0.00-10.00   sec    1.01 GBytes    872 Mbits/sec
```

iperf Done.

## Заключение

Приведенные результаты позволяют с достаточной уверенностью считать, что измерения с помощью утилиты iperf3 при использовании принятого по умолчанию протокола TCP отражают не столько возможности и параметры физического интерфейса и драйвера, сколько параметры управления потоком данных протокола TCP. Поскольку мы пытаемся разобраться с возможностями и ограничениями процессоров Freedom U540 и сетевой подсистемы платы HiFive Unleashed, важнее разобраться с уровнями 1 - 2 эталонной модели OSI без влияния настроек вышележащих уровней. Для оценки реализации нижних уровней сетевого стека TCP/IP измерения, на которые определяющее влияние оказывает управление потоком данных на транспортном уровне, практической ценности не представляют, поэтому далее мы перейдем к измерениям на основе протокола UDP, поскольку в этом случае влияние верхних уровней стека протоколов существенно меньше.

Николай Малых

[nmalykh@protocols.ru](mailto:nmalykh@protocols.ru)