

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 приведённого 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 Mb/s 0 230 KBytes
-----
[ ID] Interval          Transfer      Bitrate      Retr
[ 5] 0.00-10.03 sec 152 MBytes 127 Mb/s 0
[ 5] 0.00-10.04 sec 152 MBytes 127 Mb/s
sender
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 Mb/s
[ 5] 1.00-2.00 sec 14.9 MBytes 125 Mb/s
[ 5] 2.00-3.00 sec 15.0 MBytes 126 Mb/s
[ 5] 3.00-4.00 sec 15.1 MBytes 126 Mb/s
[ 5] 4.00-5.00 sec 15.2 MBytes 127 Mb/s
[ 5] 5.00-6.00 sec 15.3 MBytes 129 Mb/s
[ 5] 6.00-7.00 sec 15.3 MBytes 129 Mb/s
[ 5] 7.00-8.00 sec 15.1 MBytes 127 Mb/s
[ 5] 8.00-9.00 sec 15.3 MBytes 128 Mb/s
[ 5] 9.00-10.00 sec 15.1 MBytes 127 Mb/s
[ 5] 10.00-10.04 sec 665 KBytes 128 Mb/s
-----
[ ID] Interval          Transfer      Bitrate
[ 5] 0.00-10.04 sec 152 MBytes 127 Mb/s
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 Mb/s
[ 5] 1.00-2.00 sec 25.9 MBytes 217 Mb/s
[ 5] 2.00-3.00 sec 25.6 MBytes 215 Mb/s
[ 5] 3.00-4.00 sec 26.2 MBytes 220 Mb/s
[ 5] 4.00-5.00 sec 25.9 MBytes 217 Mb/s
[ 5] 5.00-6.00 sec 29.8 MBytes 250 Mb/s
[ 5] 6.00-7.00 sec 28.5 MBytes 240 Mb/s
[ 5] 7.00-8.00 sec 25.8 MBytes 216 Mb/s
[ 5] 8.00-9.00 sec 26.1 MBytes 219 Mb/s
[ 5] 9.00-10.00 sec 25.8 MBytes 217 Mb/s
[ 5] 10.00-10.02 sec 580 KBytes 259 Mb/s
-----
[ ID] Interval          Transfer      Bitrate
[ 5] 0.00-10.02 sec 266 MBytes 223 Mb/s
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 Mb/s 27 527 KBytes
[ 5] 1.00-2.00 sec 26.2 MBytes 220 Mb/s 0 595 KBytes
[ 5] 2.00-3.00 sec 26.2 MBytes 220 Mb/s 0 645 KBytes
[ 5] 3.00-4.00 sec 26.2 MBytes 220 Mb/s 1 485 KBytes
[ 5] 4.00-5.00 sec 25.0 MBytes 210 Mb/s 0 522 KBytes
[ 5] 5.00-6.00 sec 30.0 MBytes 252 Mb/s 0 563 KBytes
[ 5] 6.00-7.00 sec 28.8 MBytes 241 Mb/s 0 601 KBytes
[ 5] 7.00-8.00 sec 26.2 MBytes 220 Mb/s 0 634 KBytes
[ 5] 8.00-9.00 sec 25.0 MBytes 210 Mb/s 1 471 KBytes
[ 5] 9.00-10.00 sec 26.2 MBytes 220 Mb/s 0 542 KBytes
-----
[ ID] Interval          Transfer      Bitrate      Retr
[ 5] 0.00-10.00 sec 269 MBytes 226 Mb/s 29
[ 5] 0.00-10.02 sec 266 MBytes 223 Mb/s
sender
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	sec	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	sec	Transfer	Bitrate
[5]	0.00-10.00	sec	76.9 MBytes	64.5 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 38298 connected to 192.168.0.3 port 5201

[ID]	Interval	sec	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	sec	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	0

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	sec	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	sec	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	sec	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	sec	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	0

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 приведённого 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 растёт 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      sender
[ 5] 0.00-10.00 sec 164 MBytes 138 Mbits/sec 0          receiver
[ 5] 0.00-10.01 sec 164 MBytes 138 Mbits/sec
```

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      sender
[ 5] 0.00-10.01 sec 164 MBytes 137 Mbits/sec 0          receiver
[ 5] 0.00-10.01 sec 164 MBytes 137 Mbits/sec
```

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      sender
[ 5] 0.00-10.00 sec 155 MBytes 130 Mbits/sec 0          receiver
[ 5] 0.00-10.01 sec 155 MBytes 130 Mbits/sec
```

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 Mbits/sec 0 151 KBytes
[ 5] 1.00-2.00 sec 11.9 MBytes 99.9 Mbits/sec 0 151 KBytes
[ 5] 2.00-3.01 sec 12.0 MBytes 100 Mbits/sec 0 151 KBytes
[ 5] 3.01-4.00 sec 11.9 MBytes 100 Mbits/sec 0 151 KBytes
[ 5] 4.00-5.00 sec 11.9 MBytes 99.6 Mbits/sec 0 151 KBytes
[ 5] 5.00-6.01 sec 12.0 MBytes 100 Mbits/sec 0 151 KBytes
[ 5] 6.01-7.00 sec 11.9 MBytes 100 Mbits/sec 0 151 KBytes
[ 5] 7.00-8.01 sec 12.0 MBytes 100 Mbits/sec 0 151 KBytes
[ 5] 8.01-9.00 sec 11.9 MBytes 99.9 Mbits/sec 0 151 KBytes
[ 5] 9.00-10.00 sec 11.9 MBytes 99.7 Mbits/sec 0 151 KBytes

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

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 Mbits/sec 0 130 KBytes
[ 5] 1.00-2.00 sec 6.00 MBytes 50.3 Mbits/sec 0 130 KBytes
[ 5] 2.00-3.00 sec 6.00 MBytes 50.2 Mbits/sec 0 130 KBytes
[ 5] 3.00-4.00 sec 5.88 MBytes 49.5 Mbits/sec 0 130 KBytes
[ 5] 4.00-5.00 sec 6.00 MBytes 50.3 Mbits/sec 0 130 KBytes
[ 5] 5.00-6.00 sec 6.00 MBytes 50.2 Mbits/sec 0 130 KBytes
[ 5] 6.00-7.00 sec 5.88 MBytes 49.4 Mbits/sec 0 130 KBytes
[ 5] 7.00-8.00 sec 6.00 MBytes 50.3 Mbits/sec 0 130 KBytes
```

```
[ 5] 8.00-9.01 sec 6.00 MBytes 50.1 Mbits/sec 0 130 KBytes
[ 5] 9.01-10.00 sec 5.88 MBytes 49.5 Mbits/sec 0 130 KBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Retr
[ 5] 0.00-10.00 sec 59.6 MBytes 50.0 Mbits/sec 0          sender
[ 5] 0.00-10.01 sec 59.6 MBytes 50.0 Mbits/sec          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 Mbits/sec 0 72.1 KBytes
[ 5] 1.00-2.00 sec 1.25 MBytes 10.5 Mbits/sec 0 123 KBytes
[ 5] 2.00-3.00 sec 1.12 MBytes 9.44 Mbits/sec 0 130 KBytes
[ 5] 3.00-4.00 sec 1.25 MBytes 10.5 Mbits/sec 0 130 KBytes
[ 5] 4.00-5.00 sec 1.12 MBytes 9.44 Mbits/sec 0 130 KBytes
[ 5] 5.00-6.00 sec 1.25 MBytes 10.5 Mbits/sec 0 130 KBytes
[ 5] 6.00-7.00 sec 1.12 MBytes 9.44 Mbits/sec 0 130 KBytes
[ 5] 7.00-8.00 sec 1.25 MBytes 10.5 Mbits/sec 0 130 KBytes
[ 5] 8.00-9.00 sec 1.12 MBytes 9.44 Mbits/sec 0 130 KBytes
[ 5] 9.00-10.00 sec 1.25 MBytes 10.5 Mbits/sec 0 130 KBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Retr
[ 5] 0.00-10.00 sec 12.0 MBytes 10.1 Mbits/sec 0          sender
[ 5] 0.00-10.01 sec 12.0 MBytes 10.1 Mbits/sec          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 неопределённое число маршрутизаторов. На сервере пропускная способность ограничена значением 100 Мбит/с.

Вывод клиента

```
root@freedom-u540:~# iperf3 -c protokols.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          sender
[ 5] 0.00-10.00 sec 114 MBytes 95.3 Mbits/sec          receiver
```

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          sender
[ 5] 0.00-10.01 sec 114 MBytes 95.2 Mbits/sec          receiver
-----
```

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    0
sender
receiver
```

iperf Done.

Заключение

Приведённые 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 перейдём к измерениям на основе протокола UDP, поскольку в этом случае влияние верхних уровней стека протоколов существенно меньше.

Николай Малых

nmalykh@protokols.ru