

Резервирование каналов передачи данных С использованием различных типов L2 VPN



Solution.
Production.
Warranty.



официальный дистрибьютор

www.spw.ru

Об авторе

- Илья Князев. г. Санкт-Петербург, Россия.
- Mikrotik Certified Trainer [TR0309]
- MTCNA, MTCTCE, MTCWE, MTCUME, MTCRE, MTCINE
- Технический директор SPW.RU

Координаты для связи

- E-Mail: ikn@spw.ru
- Skype: Ilya.Knyazev
- WWW: <http://spw.ru>

Введение

- Одной из часто встречающихся задач, является задача обеспечения резервирования связи между двумя офисами, в каждом из которых есть два независимых подключения к Интернет.
- При этом возникает два варианта решения такой задачи
- Классический вариант основывается на организации нескольких L3 туннелей (ipip, gre, pptp, l2tp, sstp) и настройки маршрутизации с балансировкой трафика
- Дополнительный вариант основывается на организации нескольких Pseudo-Wire (L2) - туннелей и использовании объединения каналов (Bonding) или протокола STP

L3 резервирование

- Резервирование L3 может производиться по одному из двух алгоритмов
 - Резервирование маршрута (Active/Backup)
 - ECMP (Equal-cost multi-path routing)
 - У каждого из этих способов есть недостатки

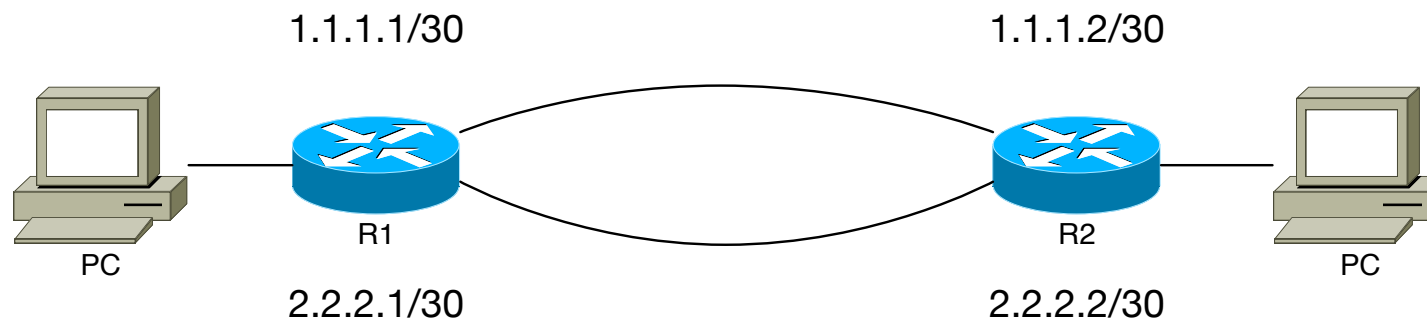
L3 резервирование

- В случае использования резервирования маршрута, скорость переключения на резервный маршрут может быть весьма значительной и зависит от:
 - Проверки шлюза (check-gateway), в случае статической маршрутизации, которая выполняется раз в 10 секунд и для признания шлюза недоступным, нужно пропустить 2 проверки. (То есть время переключения будет более 20 секунд)
 - При использовании динамической маршрутизации от Dead-interval в свойствах интерфейса
 - В любом случае используется только один канал

L3 резервирование

- В случае использования ECMP соединение «привязывается» к одному из шлюзов на основании комбинации src-address+dst-address с использованием алгоритма Round-Robin
 - Возможна ситуация, когда соединение требующее высокой пропускной способности будет привязано к медленному каналу.
 - Одно соединение не может использовать более одного шлюза
 - Время определения неисправного шлюза достаточно высоко (соответствует такому из схемы Active/Backup)

L3 резервирование



Active/Backup

Route List window showing the configuration for the 192.168.1.0/24 network. The window has tabs for Routes, Nexthops, Rules, and VRF. The Routes tab is selected, and the list shows two entries for the destination 192.168.1.0/24. The first entry is the active route, and the second entry is the backup route.

	Dst. Address	Gateway	Distance
AS	192.168.1.0/24	1.1.1.1 reachable bridge-local	1
5	192.168.1.0/24	2.2.2.1 reachable bridge-local	10

ECMP

Route List window showing the configuration for the 192.168.1.0/24 network. The window has tabs for Routes, Nexthops, Rules, and VRF. The Routes tab is selected, and the list shows one entry for the destination 192.168.1.0/24. The entry lists two next-hops, indicating ECMP (Equal-Cost Multi-Path) routing.

	Dst. Address	Gateway	Distance
AS	192.168.1.0/24	2.2.2.1 reachable bridge-local, 1.1.1.1 reachable bridge-local	1

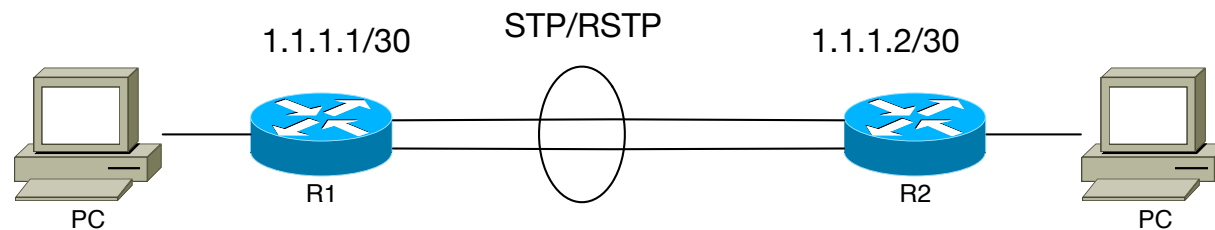
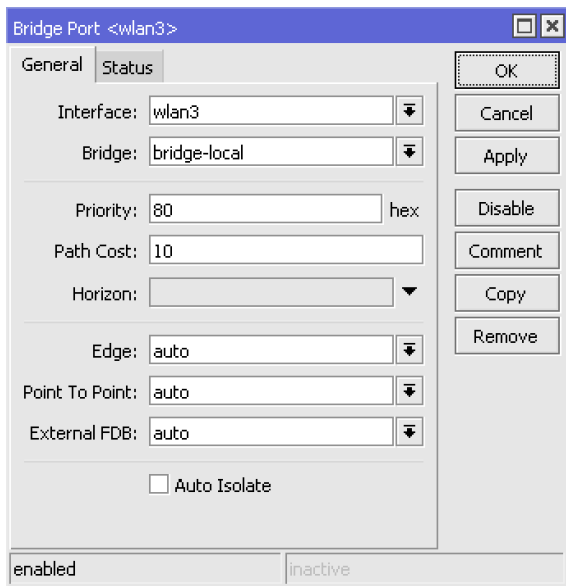
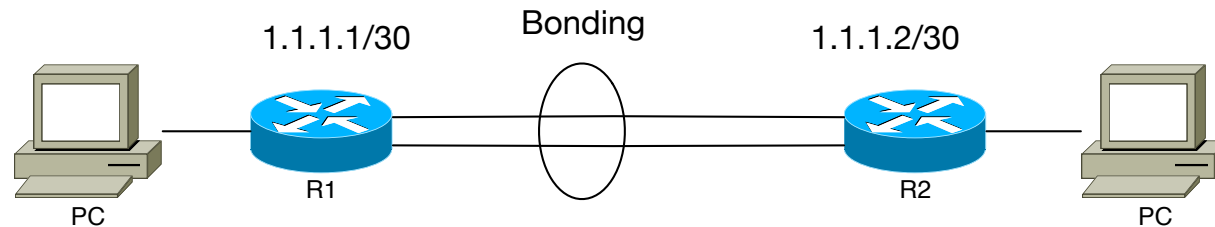
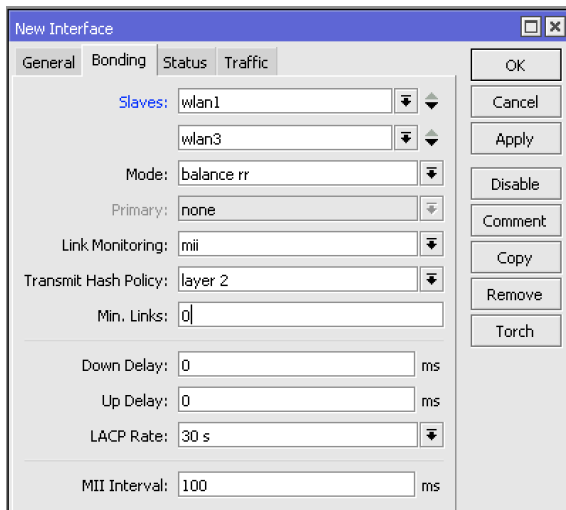
L2 Резервирование

- Иногда вместо использования классического L3 резервирования, можно воспользоваться резервированием канала по L2, которое удобно тем что:
 - Существует большее количество алгоритмов резервирования, некоторые из которых невозможно реализовать на L3
 - Вся работа по распределению нагрузки и резервированию канала происходит на уровне 2 модели OSI и не затрагивает маршрутизацию
 - Может использоваться в сетях где нет IP

L2 Резервирование

- Недостатки L2 резервирования
- Работает с Ethernet-подобными интерфейсами используя STP и/или объединение каналов (Bonding)
- При этом при отсутствии непосредственного L2 канала его приходится строить поверх L3 сети (Ethernet Over IP) в результате чего возникает БОльший оверхед, связанный с необходимостью передачи заголовка L2-фрейма

L2 Резервирование



L2 резервирование

- Таким образом возможно два типа резервирования L2 канала:
 - С использованием Bonding, создавая соответствующий виртуальный интерфейс в RouterOS, включая в него Ethernet-подобные интерфейсы и указывая алгоритм объединения
 - С использованием протокола STP (фактически схема Active-Backup)

L2 VPN

- Для L2-канала поверх L3-сети, необходимо использовать соответствующий тип VPN, который вместо инкапсуляции L3 пакета, будет инкапсулировать L2-фрейм передавая его на удаленную сторону
- В RouterOS возможно создание нескольких типов таких туннелей

L2 VPN основные типы

- Основные типы L2 туннелей в RouterOS
 - **EoIP Ethernet over IP** - GRE-подобный проприетарный туннель
 - **BCP (Bridge Control Protocol)** с использованием PPP-VPN (PPTP, L2TP, SSTP)
 - **OVPN** с tan-интерфейсом
 - **VPLS (Virtual Private LAN Service)** работает в MPLS-сетях

L2-VPN основные типы

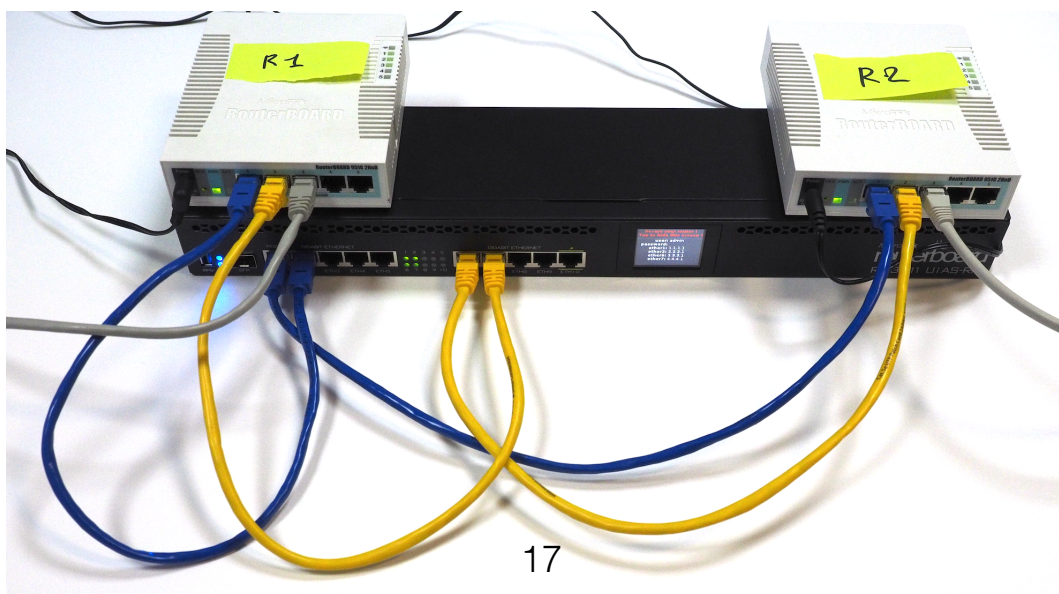
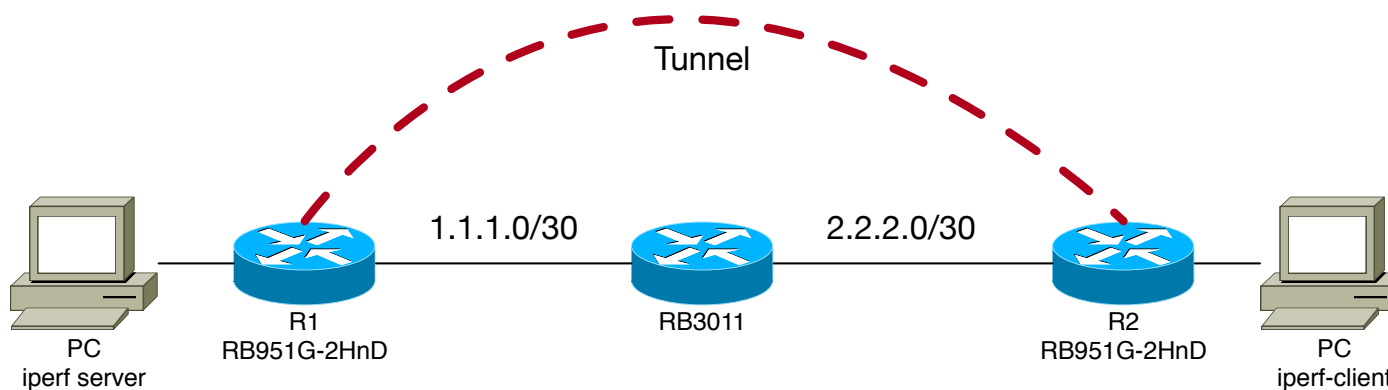
- Так же возможна комбинация L3-VPN с L2-VPN например:
- EoIP или VPLS внутри PPP или любого другого L3 туннеля. То есть возможны комбинации
- PPTP/L2TP/SSTP/IPIP+EoIP или PPTP/L2TP/SSTP/GRE/IPIP+VPLS

L2 VPN тесты

- Мной были проведены тесты различных комбинаций VPN для построения L2-канала
- Исследовались следующие варианты
 - PPTP/L2TP/SSTP+BCP
 - PPTP/L2TP/SSTP+VPLS
 - PPTP/L2TP/SSTP+EoIP
 - EoIP
 - GRE+VPLS
- В каждом случае оценивалась пропускная способность и нагрузка на CPU

L2 VPN тесты

Тестовый стенд (на всех маршрутизаторах установлена RouterOS 6.37.4 Bugfix)



EoIP

Profile (Running)

Name	Usage
bridging	6.5
ethernet	46.0
idle	20.5
management	3.0
mpls	0.0
networking	12.5
routing	0.0
unclassified	11.5
winbox	0.0

9 items

Resources

Uptime: 04:05:37

Free Memory: 105.3 MiB

Total Memory: 128.0 MiB

CPU: MIPS 74Kc V4.12

CPU Count: 1

CPU Frequency: 600 MHz

CPU Load: 68 %

Free HDD Space: 112.1 MiB

Total HDD Size: 128.0 MiB

Sector Writes Since Reboot: 335

Total Sector Writes: 7 517

Bad Blocks: 0.0 %

Architecture Name: mipsbe

Board Name: RB951G-2HnD

Version: 6.37.4 (bugfix)

Build Time: Jan/13/2017 06:52:21

Factory Software: 6.34.4

OK

PCI

USB

CPU

IRQ

Interface <eoip-tunnel1>

General

Loop Protect

Status

Traffic

Tx/Rx Rate: 717.1 Mbps / 6.1 Mbps

Tx/Rx Packet Rate: 60 918 p/s / 11 322 p/s

FP Tx/Rx Rate: 717.1 Mbps / 6.1 Mbps

FP Tx/Rx Packet Rate: 60 902 p/s / 11 322 p/s

Tx/Rx Bytes: 25.6 GiB / 357.3 MiB

Tx/Rx Packets: 18 725 802 / 3 388 102

Tx/Rx Drops: 0 / 0

Tx/Rx Errors: 0 / 0

Tx: 717.1 Mbps

Rx: 6.1 Mbps

Tx Packet: 60 918 p/s

Rx Packet: 11 322 p/s

enabled

running

slave

OK

Cancel

Apply

Disable

Comment

Copy

Remove

Torch

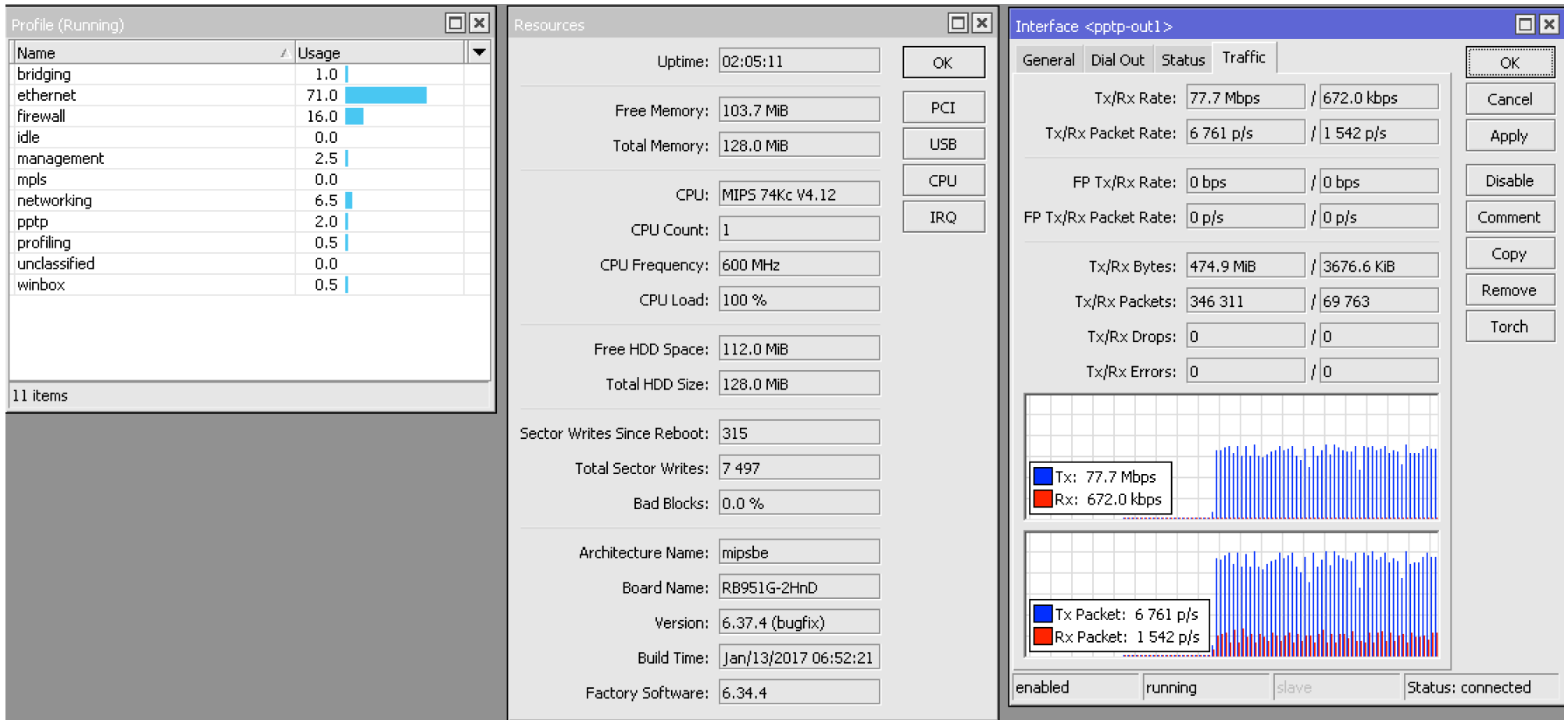
EoIP

- Результаты измерений.
- Нагрузка на процессор ~70%
- Средняя скорость передачи данных между конечными узлами измеренная iperf - 735 Мбит/сек минимальная 701 Мбит, максимальная 818 Мбит
- Для теста была проверена скорость L3-GRE туннеля. Она составила 770 Мбит/сек, что лишь на ~5% выше EoIP
- Это очень хороший результат для RB951G-2HnD

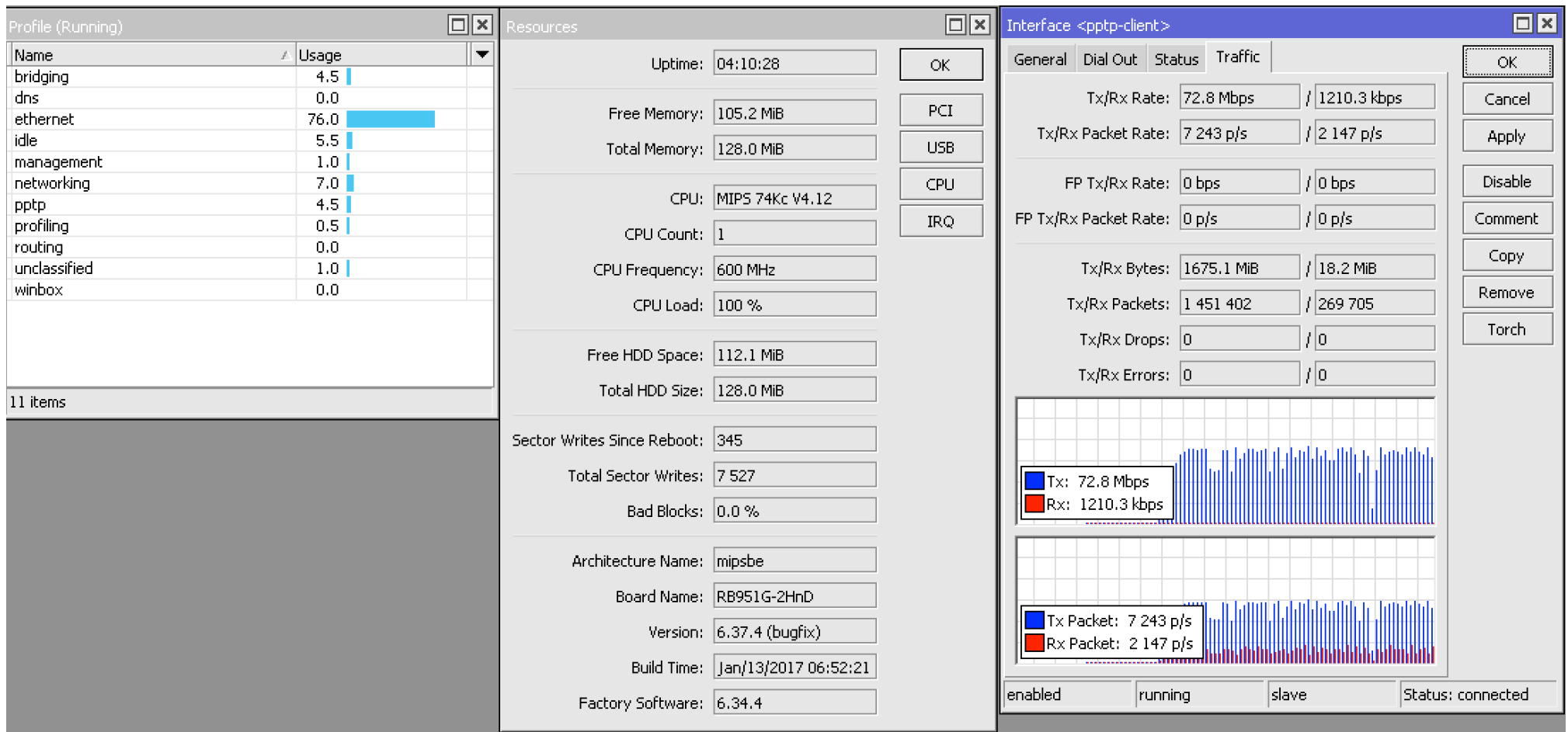
xPPP

- К сожалению EoIP требует наличия реальных адресов с обеих сторон туннеля, что накладывает ограничения на использование этой технологии
- Преодолеть эти ограничения можно при помощи использования VPN на технологии Клиент-Сервер, таких как PPTP, L2TP, SSTP
- Тестировался L3 туннель и затем он же с использованием BCP, EoIP и VPLS
- На следующих слайдах мы увидим что получилось

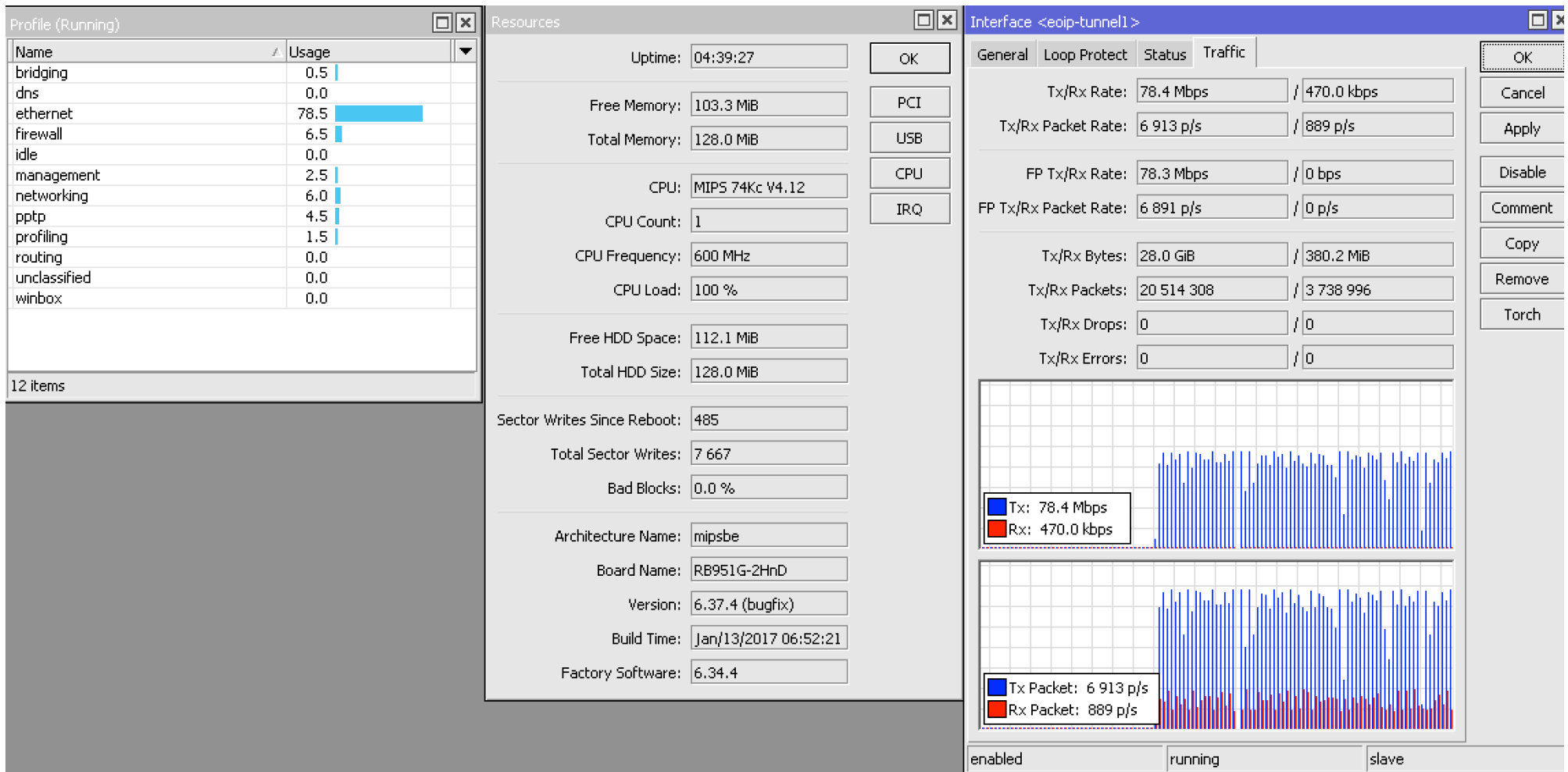
PPTP



PPTP+BCP



PPTP+EOIP



PPTP+VPLS

The image displays three screenshots from a network device's web interface, likely a MikroTik WinBox or similar, showing system status, resources, and interface configuration.

Profile (Running)

Name	Usage
bridging	1.0
ethernet	16.5
firewall	19.5
idle	14.5
management	2.5
mpls	16.5
networking	9.5
pptp	18.5
profiling	0.0
routing	0.0
unclassified	1.0
winbox	0.5

12 items

Resources

Uptime: 05:24:43

Free Memory: 102.3 MiB

Total Memory: 128.0 MiB

CPU: MIPS 74Kc V4.12

CPU Count: 1

CPU Frequency: 600 MHz

CPU Load: 87 %

Free HDD Space: 112.1 MiB

Total HDD Size: 128.0 MiB

Sector Writes Since Reboot: 569

Total Sector Writes: 7 751

Bad Blocks: 0.0 %

Architecture Name: mipsbe

Board Name: RB951G-2HnD

Version: 6.37.4 (bugfix)

Build Time: Jan/13/2017 06:52:21

Factory Software: 6.34.4

Interface <vpls1>

General Status Traffic

Tx/Rx Rate: 125.9 Mbps / 1314.4 kbps

Tx/Rx Packet Rate: 10 407 p/s / 2 423 p/s

FP Tx/Rx Rate: 0 bps / 0 bps

FP Tx/Rx Packet Rate: 0 p/s / 0 p/s

Tx/Rx Bytes: 3244.8 MiB / 39.0 MiB

Tx/Rx Packets: 2 273 823 / 556 737

Tx/Rx Drops: 0 / 0

Tx/Rx Errors: 0 / 0

Traffic Graphs:

Top graph: Tx: 125.9 Mbps (blue), Rx: 1314.4 kbps (red)

Bottom graph: Tx Packet: 10 407 p/s (blue), Rx Packet: 2 423 p/s (red)

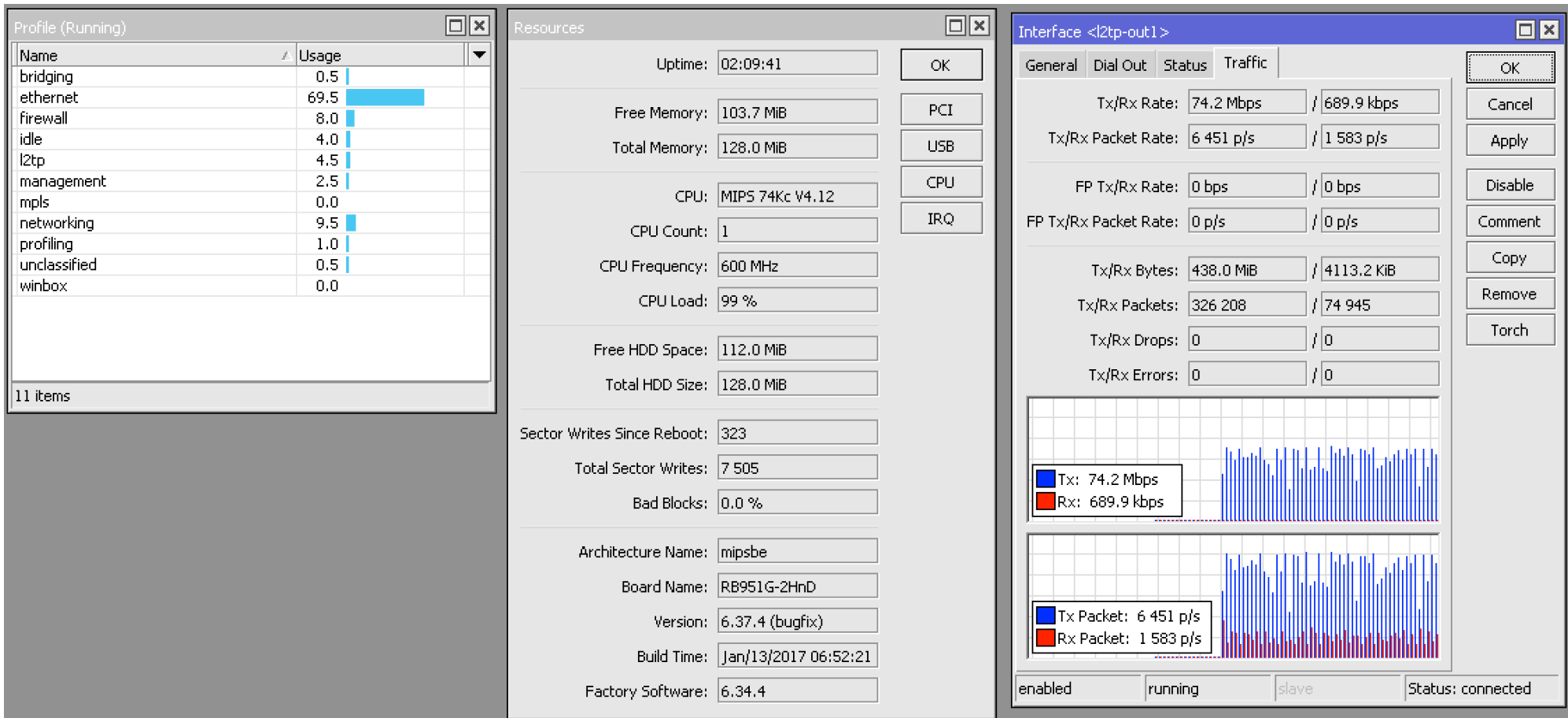
Buttons: OK, Cancel, Apply, Disable, Comment, Copy, Remove, Torch

Interface status: enabled, running, slave, BGP signaled, Cisco BGP Sig...

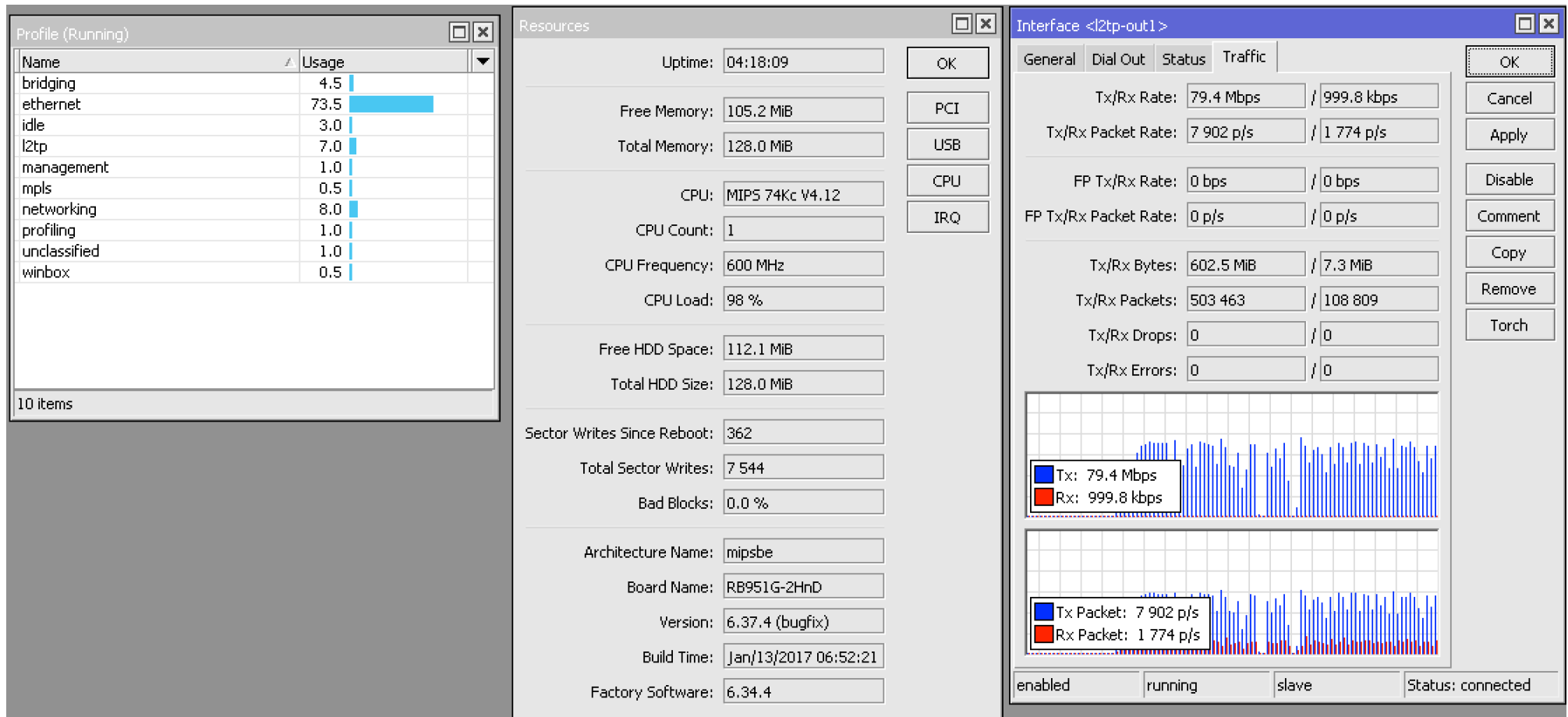
RRTP-результаты

- **«Чистый» RRTP-туннель** Максимальная/Средняя/Минимальная скорость передачи данных 79.7/72/49.3 Мбит/сек. Нагрузка на CPU ~100%
- **RRTP+BCP** Скорость передачи данных 81.8/70.1/10.5 Мбит/сек Нагрузка на CPU ~100%
- **RRTP+EoIP** Скорость передачи данных 77.6/65.9/15.7 Мбит/сек. Нагрузка на CPU ~100%
- **RRTP+VPLS** Скорость передачи данных 142/112/0 Мбит/сек нагрузка на CPU ~90%

L2TP



L2TP+BCP



L2TP+EoIP

The screenshot displays a network configuration interface with three main panels:

- Profile (Running):** A table showing resource usage for various services.
- Resources:** A panel displaying system information and hardware details.
- Interface <ecip-tunnel1>:** A panel showing network statistics and traffic graphs.

Profile (Running) Table:

Name	Usage
bridging	1.5
ethernet	63.5
firewall	7.0
idle	6.0
l2tp	11.0
management	1.5
networking	9.0
profiling	0.0
unclassified	0.5
winbox	0.0

10 items

Resources:

- Uptime: 04:45:42
- Free Memory: 102.7 MiB
- Total Memory: 128.0 MiB
- CPU: MIPS 74Kc V4.12
- CPU Count: 1
- CPU Frequency: 600 MHz
- CPU Load: 100 %
- Free HDD Space: 112.1 MiB
- Total HDD Size: 128.0 MiB
- Sector Writes Since Reboot: 497
- Total Sector Writes: 7 679
- Bad Blocks: 0.0 %
- Architecture Name: mipsbe
- Board Name: RB951G-2HnD
- Version: 6.37.4 (bugfix)
- Build Time: Jan/13/2017 06:52:21
- Factory Software: 6.34.4

Interface <ecip-tunnel1>:

General | Loop Protect | Status | Traffic

Tx/Rx Rate: 74.9 Mbps / 461.8 kbps

Tx/Rx Packet Rate: 6 606 p/s / 874 p/s

FP Tx/Rx Rate: 74.9 Mbps / 0 bps

FP Tx/Rx Packet Rate: 6 587 p/s / 0 p/s

Tx/Rx Bytes: 29.0 GiB / 391.6 MiB

Tx/Rx Packets: 21 311 713 / 3 915 851

Tx/Rx Drops: 2 / 0

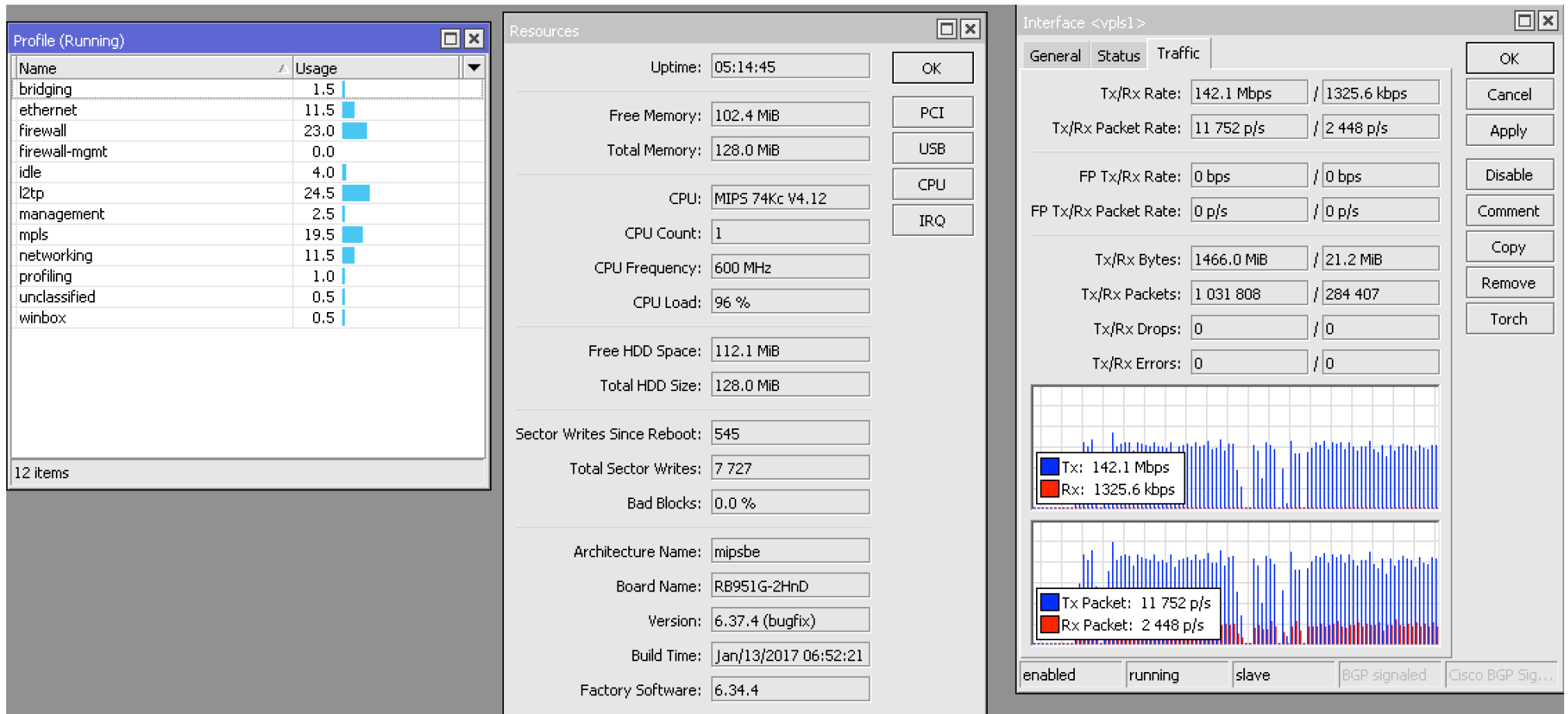
Tx/Rx Errors: 0 / 0

Traffic Graphs:

- Top graph: Tx (blue) and Rx (red) rates over time. Legend: Tx: 74.9 Mbps, Rx: 461.8 kbps.
- Bottom graph: Tx Packet (blue) and Rx Packet (red) rates over time. Legend: Tx Packet: 6 606 p/s, Rx Packet: 874 p/s.

enabled | running | slave

L2TP+VPLS



L2TP результаты

- **L2TP** Скорость передачи данных 80.7/69.7/35.7 Мбит/сек нагрузка на CPU ~100%
- **L2TP+BSP** Скорость передачи данных 80.7/60.7/0 Мбит/сек нагрузка на CPU ~100%
- **L2TP+EoIP** Скорость передачи данных 73.4/63.2/5.24 Мбит/сек нагрузка на CPU ~100%
- **L2TP+VPLS** Скорость передачи данных 152/120/0 Мбит/сек нагрузка на CPU ~95%

SSTP

The screenshot displays a network management interface with three main panels:

- Profile (Running):** A table showing the usage of various system components.
- Resources:** A panel displaying system hardware and software information.
- Interface <sstp-out1>:** A panel showing the status and traffic of the SSTP interface.

Profile (Running) Table:

Name	Usage
bridging	1.0
dns	0.0
ethernet	4.0
idle	31.0
management	2.5
mpls	0.0
networking	7.5
profiling	0.5
sstp	53.0
unclassified	0.0
winbox	0.5

11 items

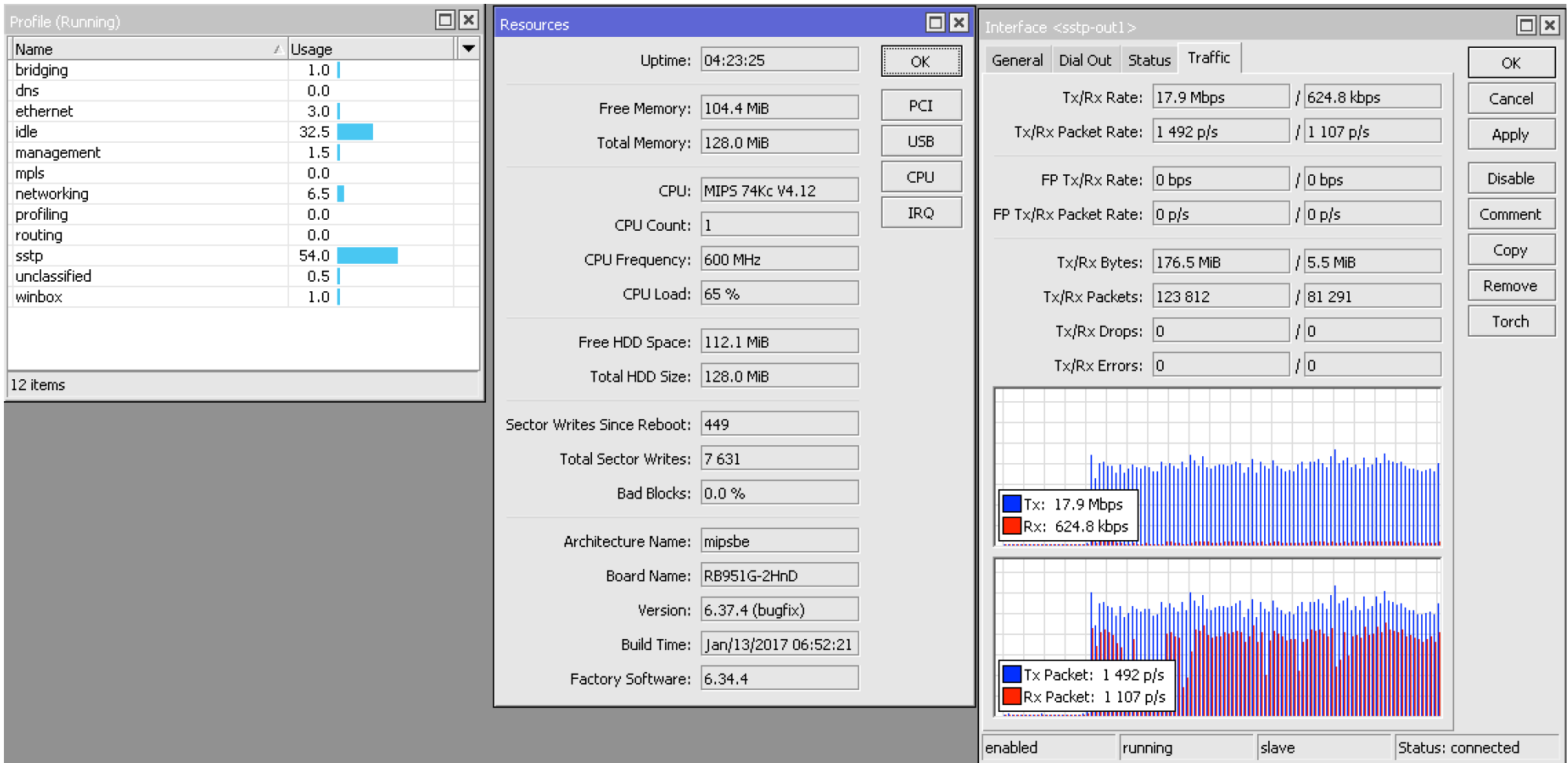
Resources:

- Uptime: 02:15:22
- Free Memory: 104.1 MIB
- Total Memory: 128.0 MIB
- CPU: MIPS 74Kc V4.12
- CPU Count: 1
- CPU Frequency: 600 MHz
- CPU Load: 70 %
- Free HDD Space: 112.0 MIB
- Total HDD Size: 128.0 MIB
- Sector Writes Since Reboot: 335
- Total Sector Writes: 7 517
- Bad Blocks: 0.0 %
- Architecture Name: mipsbe
- Board Name: RB951G-2HnD
- Version: 6.37.4 (bugfix)
- Build Time: Jan/13/2017 06:52:21
- Factory Software: 6.34.4

Interface <sstp-out1>:

- General tab selected.
- Tx/Rx Rate: 17.2 Mbps / 521.7 kbps
- Tx/Rx Packet Rate: 1 503 p/s / 1 178 p/s
- FP Tx/Rx Rate: 0 bps / 0 bps
- FP Tx/Rx Packet Rate: 0 p/s / 0 p/s
- Tx/Rx Bytes: 154.0 MIB / 4457.8 KIB
- Tx/Rx Packets: 112 607 / 83 119
- Tx/Rx Drops: 0 / 0
- Tx/Rx Errors: 0 / 0
- Graphs showing Tx and Rx rates and packet rates over time.
- Legend for graphs: Tx: 17.2 Mbps, Rx: 521.7 kbps; Tx Packet: 1 503 p/s, Rx Packet: 1 178 p/s.
- Buttons: OK, Cancel, Apply, Disable, Comment, Copy, Remove, Torch.
- Status: enabled, running, slave, Status: connected.

SSTP+BCP



SSTP+EoIP

The screenshot displays a network management interface with three main panels:

- Profile (Running):** A table showing system usage for various components.
- Resources:** A panel displaying system statistics and hardware information.
- Interface <e0ip-tunnel1>:** A configuration panel for an EoIP tunnel with tabs for General, Loop Protect, Status, and Traffic.

Profile (Running) Table:

Name	Usage
bridging	1.0
ethernet	4.0
flash	0.0
idle	39.0
management	0.5
networking	6.5
profiling	0.5
routing	0.0
sstp	48.0
unclassified	0.0
winbox	0.5

Resources Panel:

- Uptime: 04:52:03
- Free Memory: 103.6 MiB
- Total Memory: 128.0 MiB
- CPU: MIPS 74Kc V4.12
- CPU Count: 1
- CPU Frequency: 600 MHz
- CPU Load: 66 %
- Free HDD Space: 112.1 MiB
- Total HDD Size: 128.0 MiB
- Sector Writes Since Reboot: 509
- Total Sector Writes: 7 691
- Bad Blocks: 0.0 %
- Architecture Name: mipsbe
- Board Name: RB951G-2HnD
- Version: 6.37.4 (bugfix)
- Build Time: Jan/13/2017 06:52:21
- Factory Software: 6.34.4

Interface <e0ip-tunnel1> Panel:

- General Tab:**
 - Tx/Rx Rate: 18.3 Mbps / 377.2 kbps
 - Tx/Rx Packet Rate: 1 575 p/s / 703 p/s
 - FP Tx/Rx Rate: 18.3 Mbps / 0 bps
 - FP Tx/Rx Packet Rate: 1 561 p/s / 0 p/s
 - Tx/Rx Bytes: 29.5 GiB / 400.9 MiB
 - Tx/Rx Packets: 21 670 822 / 4 058 852
 - Tx/Rx Drops: 120 / 0
 - Tx/Rx Errors: 0 / 0
- Traffic Tab:** Contains two line graphs showing Tx and Rx rates over time.
- Status:** enabled, running, slave

SSTP+VPLS

Profile (Running)

Name	Usage
bridging	0.5
ethernet	1.5
idle	61.0
management	2.5
mpls	0.5
networking	7.0
sstp	27.0
unclassified	0.0
winbox	0.0

9 items

Resources

Uptime: 05:07:00

Free Memory: 103.6 MiB

Total Memory: 128.0 MiB

CPU: MIPS 74Kc V4.12

CPU Count: 1

CPU Frequency: 600 MHz

CPU Load: 45 %

Free HDD Space: 112.1 MiB

Total HDD Size: 128.0 MiB

Sector Writes Since Reboot: 523

Total Sector Writes: 7 705

Bad Blocks: 0.0 %

Architecture Name: mipsbe

Board Name: RB951G-2HnD

Version: 6.37.4 (bugfix)

Build Time: Jan/13/2017 06:52:21

Factory Software: 6.34.4

OK

PCI

USB

CPU

IRQ

Interface <vppls1>

General

Status

Traffic

Tx/Rx Rate: 6.5 Mbps / 289.4 kbps

Tx/Rx Packet Rate: 566 p/s / 360 p/s

FP Tx/Rx Rate: 0 bps / 0 bps

FP Tx/Rx Packet Rate: 0 p/s / 0 p/s

Tx/Rx Bytes: 104.9 MiB / 4877.0 KiB

Tx/Rx Packets: 83 506 / 50 473

Tx/Rx Drops: 0 / 0

Tx/Rx Errors: 0 / 0

Tx: 6.5 Mbps

Rx: 289.4 kbps

Tx Packet: 566 p/s

Rx Packet: 360 p/s

enabled

running

slave

BGP signaled

Cisco BGP Sig...

OK

Cancel

Apply

Disable

Comment

Copy

Remove

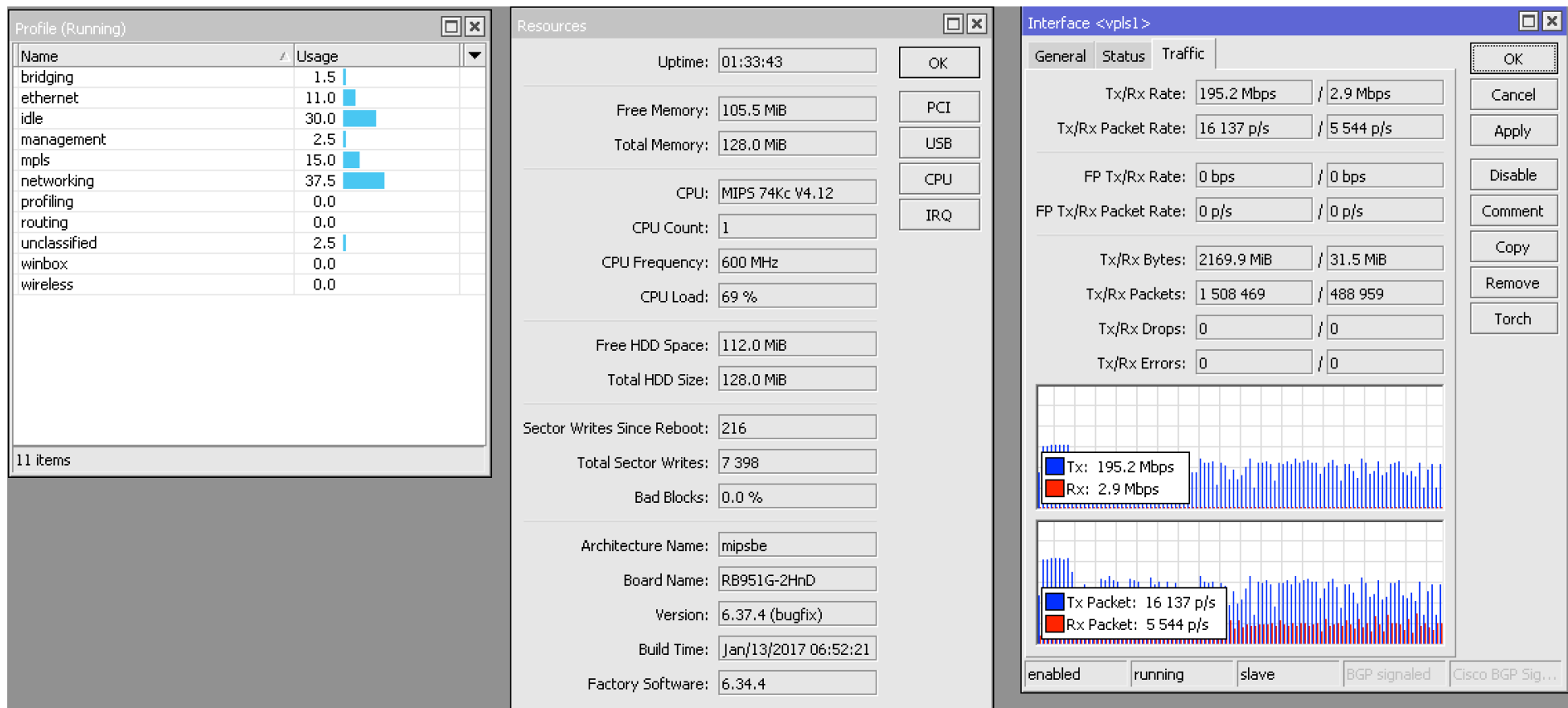
Torch

SSTP результаты

- **SSTP** Скорость передачи данных 18.9/16.3/12.6 Мбит/сек Нагрузка на CPU ~70%
- **SSTP+BCP** Скорость передачи данных 18.9/16.6/12.6 Мбит/сек Нагрузка на CPU ~70%
- **SSTP+EoIP** Скорость передачи данных 21/16.4/13.6 Мбит/сек Нагрузка на CPU ~70%
- **SSTP+VPLS** Скорость передачи данных 13.6/10.9/6.29 Мбит/сек Нагрузка на CPU ~50%

GRE+VPLS

Так как EoIP и увидев что часто VPLS ускоряет работу
возникла идея создать туннель GRE+VPLS



GRE+VPLS

- Результаты измерений
- Средняя скорость передачи данных между узлами снизилась до 176 Мбит/сек против 735 Мбит/сек е. EoIP-туннеля. Соединение стало менее стабильным
- Это не тот вариант, который был бы интересен для использования

Общая таблица

Таблица 1

	Параметр	PPTP	L2TP	SSTP	EoIP
Чистый туннель	Скорость передачи данных	79.7/72/49.3	80.7/69.7/35.7	18.9/16.3/12.6	818/735/701
	Нестабильность канала (%)	38,1	55,8	33,3	14,3
	Нагрузка на CPU(%)	100,0	100,0	70,0	70,0
BSP	Скорость передачи данных	81.8/70.1/10.5	80.7/60.7/0	18.9/16.6/12.6	Не применимо
	Нестабильность канала (%)	87,2	100,0	33,3	
	Нагрузка на CPU(%)	100,0	100,0	70,0	
EoIP	Скорость передачи данных	77.6/65.9/15.7	73.4/63.2/5.24	21/16.4/13.6	
	Нестабильность канала (%)	79,8	92,9	35,2	
	Нагрузка на CPU(%)	1,0	100,0	70,0	
VPLS	Скорость передачи данных	142/112/0	152/120/0	13.6/10.9/6.29	
	Нестабильность канала (%)	100,0	100,0	53,8	
	Нагрузка на CPU(%)	90,0	100,0	50,0	

Выводы

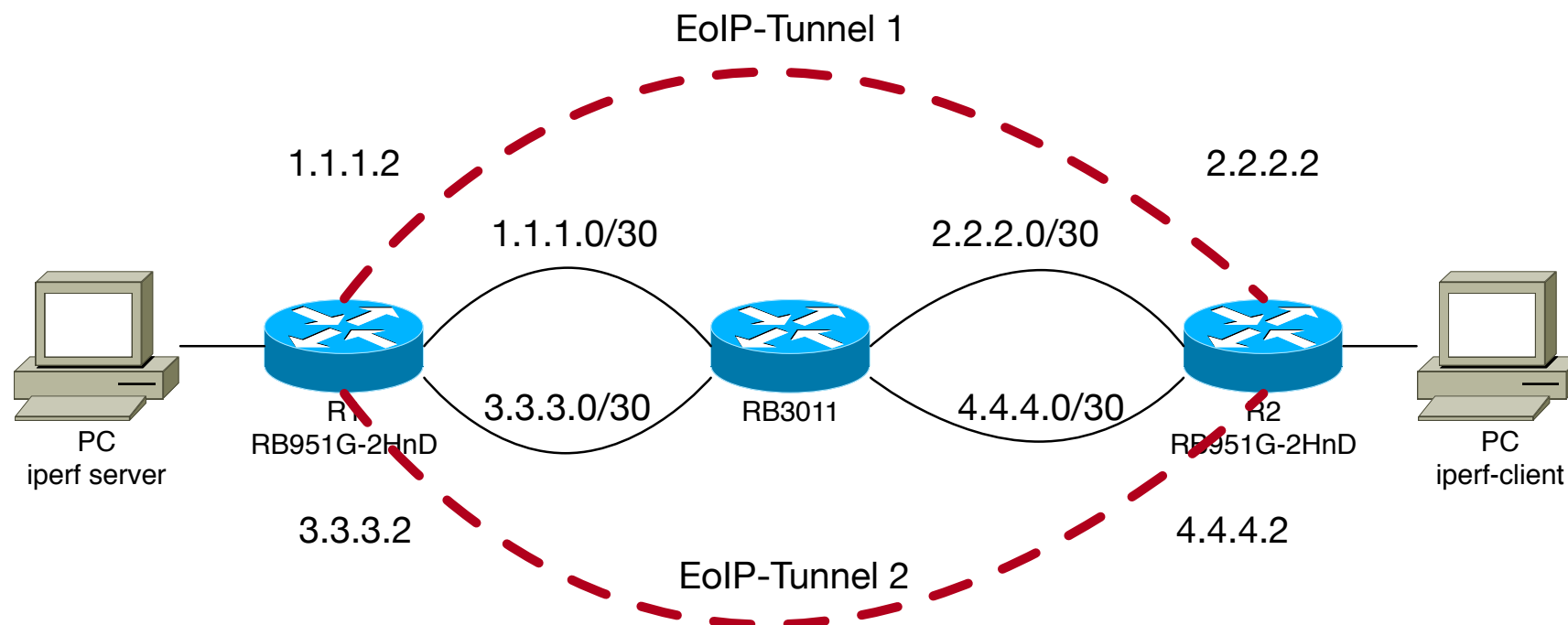
- Самым быстрым и стабильным L2-VPN является EoIP
- Вторым по соотношению качеств является PPTP+EoIP
- Самый стабильный из Клиент-серверных VPN, но и самый медленный - SSTP
- Самый быстрый, он же самый нестабильный - L2TP
- Использование VPLS в качестве L2 во всех случаях кроме SSTP повышает скорость, но снижает стабильность

Bonding

- Мной был проведен ряд тестов с целью определить наилучшие варианты резервирования L2 канала при помощи Bonding
- Трестировались следующие типы Bonding
 - Active-Backup
 - 802.3ad (LACP)
 - Balance-rr
 - Broadcast

Bonding

Схема сети была изменена с целью добавления второго канала



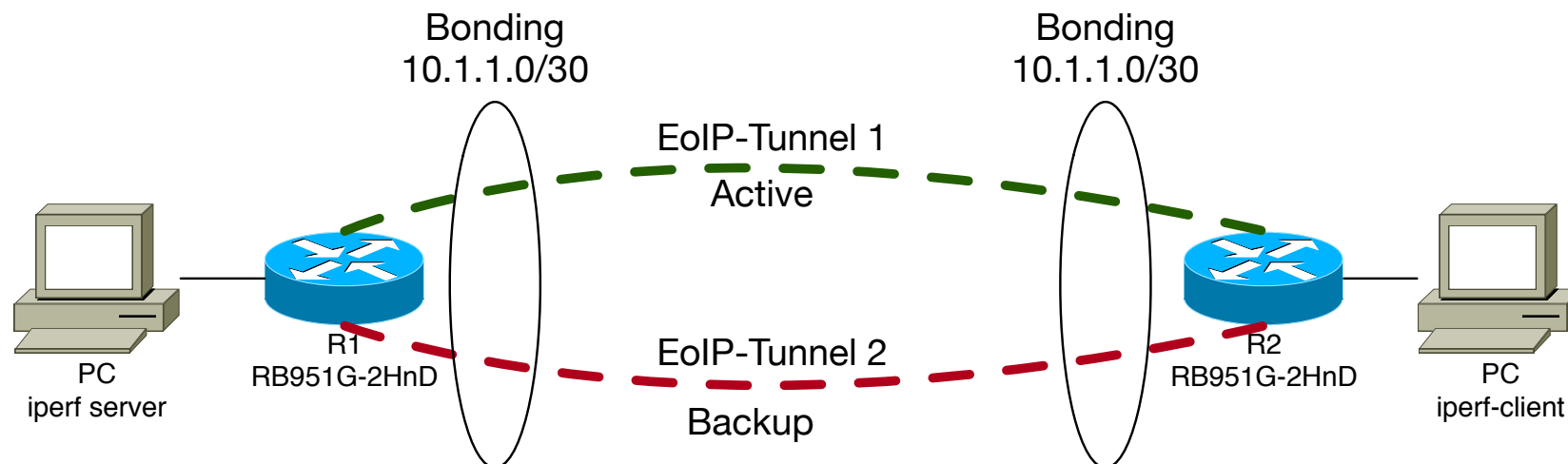
Bonding

- Поставлены следующие задачи
- Определить максимальную скорость передачи данных в каждом из алгоритмов Bonding
- Определить скорость переключения при отказе канала
- С учетом ограничений схемотехники RB951G-2HnD (1Gb порт на CPU) скорость внешних портов установлена в 100Мбит

Active Backup

- Алгоритм работы заключается в том, что данные передаются по первому (Primary)-интерфейсу. Если он станет недоступен - начинается передача данных по второму интерфейсу.
- Если Primary не задан - то тот интерфейс по которому в данный момент осуществляется передача является Primary (т.е. не происходит возврат на первый в списке интерфейс после его восстановления)
- Требуется согласованное назначение интерфейсов с обеих сторон

Active Backup



- Средняя скорость передачи данных составила 91Мбит/сек
- Время переключения при пропадании основного канала 9 секунд связано с настройками keeralive EoIP-туннеля (3,3)

Active Backup



Active Backup

```
$ iperf -c 192.168.0.1 -t100.textClipping
```

```
$ iperf -c 192.168.0.1 -t100 -i1
```

```
-----  
Client connecting to 192.168.0.1, TCP port 5001  
TCP window size: 129 KByte (default)  
-----
```

```
[ 4] local 192.168.1.1 port 50364 connected with 192.168.0.1 port 5001  
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth  
[ 4]  0.0- 1.0 sec  10.6 MBytes 89.1 Mbits/sec  
[ 4]  1.0- 2.0 sec  10.9 MBytes 91.2 Mbits/sec  
[ 4]  2.0- 3.0 sec  10.9 MBytes 91.2 Mbits/sec  
[ 4]  3.0- 4.0 sec  10.9 MBytes 91.2 Mbits/sec  
[ 4]  4.0- 5.0 sec  11.0 MBytes 92.3 Mbits/sec  
[ 4]  5.0- 6.0 sec  10.9 MBytes 91.2 Mbits/sec  
[ 4]  6.0- 7.0 sec  10.8 MBytes 90.2 Mbits/sec  
[ 4]  7.0- 8.0 sec  10.9 MBytes 91.2 Mbits/sec  
[ 4]  8.0- 9.0 sec  11.0 MBytes 92.3 Mbits/sec  
[ 4]  9.0-10.0 sec  10.9 MBytes 91.2 Mbits/sec  
[ 4] 10.0-11.0 sec  10.9 MBytes 91.2 Mbits/sec  
[ 4] 11.0-12.0 sec  10.9 MBytes 91.2 Mbits/sec  
[ 4] 12.0-13.0 sec  11.0 MBytes 92.3 Mbits/sec  
[ 4] 13.0-14.0 sec  11.0 MBytes 92.3 Mbits/sec  
[ 4] 14.0-15.0 sec  11.0 MBytes 92.3 Mbits/sec  
[ 4] 15.0-16.0 sec  11.0 MBytes 92.3 Mbits/sec  
[ 4] 16.0-17.0 sec  10.9 MBytes 91.2 Mbits/sec
```

```
$ ping 192.168.0.1-PING 192..textClipping
```

```
$ ping 192.168.0.1
```

```
PING 192.168.0.1 (192.168.0.1): 56 data bytes
```

```
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=0 ttl=62 time=0.666 ms
```

```
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=1 ttl=62 time=0.615 ms
```

```
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=2 ttl=62 time=0.693 ms
```

```
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=3 ttl=62 time=0.586 ms
```

```
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=4 ttl=62 time=0.645 ms
```

```
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=5 ttl=62 time=0.567 ms
```

```
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=6 ttl=62 time=0.609 ms
```

```
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=7 ttl=62 time=0.655 ms
```

```
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=8 ttl=62 time=0.652 ms
```

```
Request timeout for icmp_seq 9
```

```
Request timeout for icmp_seq 10
```

```
Request timeout for icmp_seq 11
```

```
Request timeout for icmp_seq 12
```

```
Request timeout for icmp_seq 13
```

```
Request timeout for icmp_seq 14
```

```
Request timeout for icmp_seq 15
```

```
Request timeout for icmp_seq 16
```

```
Request timeout for icmp_seq 17
```

```
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=18 ttl=62 time=0.770 ms
```

```
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=19 ttl=62 time=0.627 ms
```

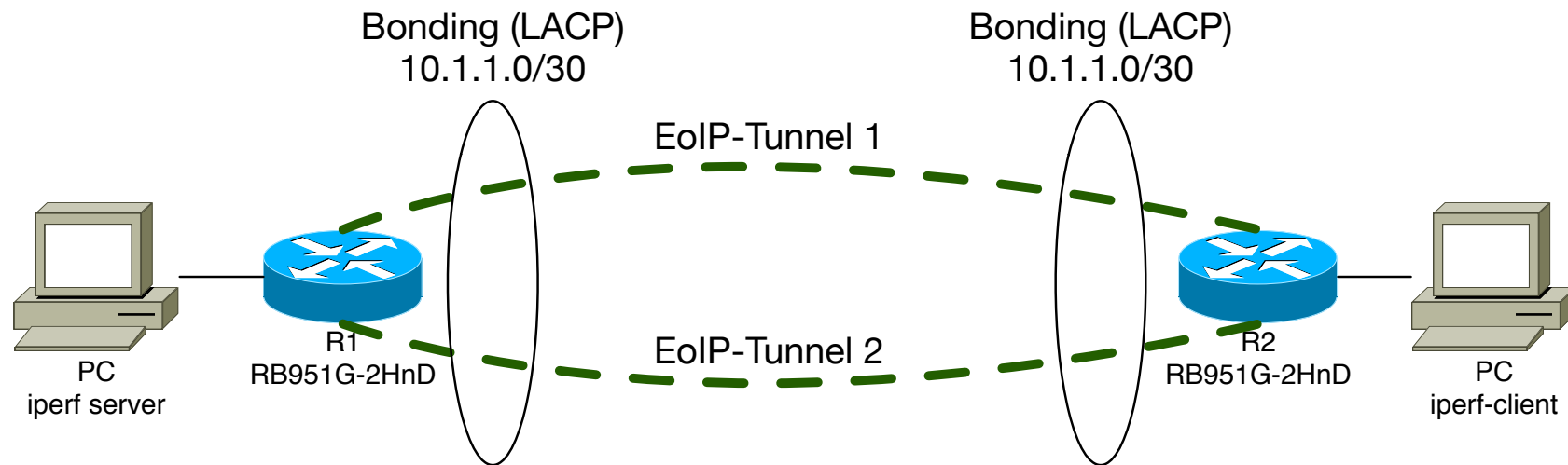
```
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=20 ttl=62 time=0.659 ms
```

```
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=21 ttl=62 time=0.610 ms
```

LACP (802.3ad)

- Наиболее часто используемый протокол объединения каналов. Как правило поддерживается управляемыми коммутаторами
- Распределение нагрузки происходит за счет привязки соединения (по MAC или IP адресам) к конкретному линку.
- В случае одной пары соединений ведет себя как Active/Backup

LACP (802.3ad)



- Средняя скорость передачи данных составила 90.9 Мбит/сек
- Время переключения при пропадании основного канала 9 секунд связано с настройками keeralive EoIP-туннеля (3,3)

LACP (802.3ad)



LACP (802.3ad)

```
$ iperf -c 192.168.0.1 -t100 -i5
```

Client connecting to 192.168.0.1, TCP port 5001
TCP window size: 129 KByte (default)

```
[ 4] local 192.168.1.1 port 49746 connected with 192.168.0.1 port 5001
```

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth
[4]	0.0- 5.0 sec	54.8 MBytes	91.9 Mb/s
[4]	5.0-10.0 sec	54.5 MBytes	91.4 Mb/s
[4]	10.0-15.0 sec	54.8 MBytes	91.9 Mb/s
[4]	15.0-20.0 sec	54.5 MBytes	91.4 Mb/s
[4]	20.0-25.0 sec	54.5 MBytes	91.4 Mb/s
[4]	25.0-30.0 sec	54.4 MBytes	91.2 Mb/s
[4]	30.0-35.0 sec	54.1 MBytes	90.8 Mb/s
[4]	35.0-40.0 sec	54.0 MBytes	90.6 Mb/s
[4]	40.0-45.0 sec	54.5 MBytes	91.4 Mb/s
[4]	45.0-50.0 sec	54.2 MBytes	91.0 Mb/s
[4]	50.0-55.0 sec	54.1 MBytes	90.8 Mb/s
[4]	55.0-60.0 sec	54.4 MBytes	91.2 Mb/s
[4]	60.0-65.0 sec	53.5 MBytes	89.8 Mb/s
[4]	65.0-70.0 sec	54.8 MBytes	91.9 Mb/s
[4]	70.0-75.0 sec	54.0 MBytes	90.6 Mb/s
[4]	75.0-80.0 sec	54.5 MBytes	91.4 Mb/s
[4]	80.0-85.0 sec	54.6 MBytes	91.6 Mb/s

```
Mac-Pro-Ila-~ ikn$ ping 192.168.0.1
```

Mac-Pro-Ila:~ ikn\$ ping 192.168.0.1

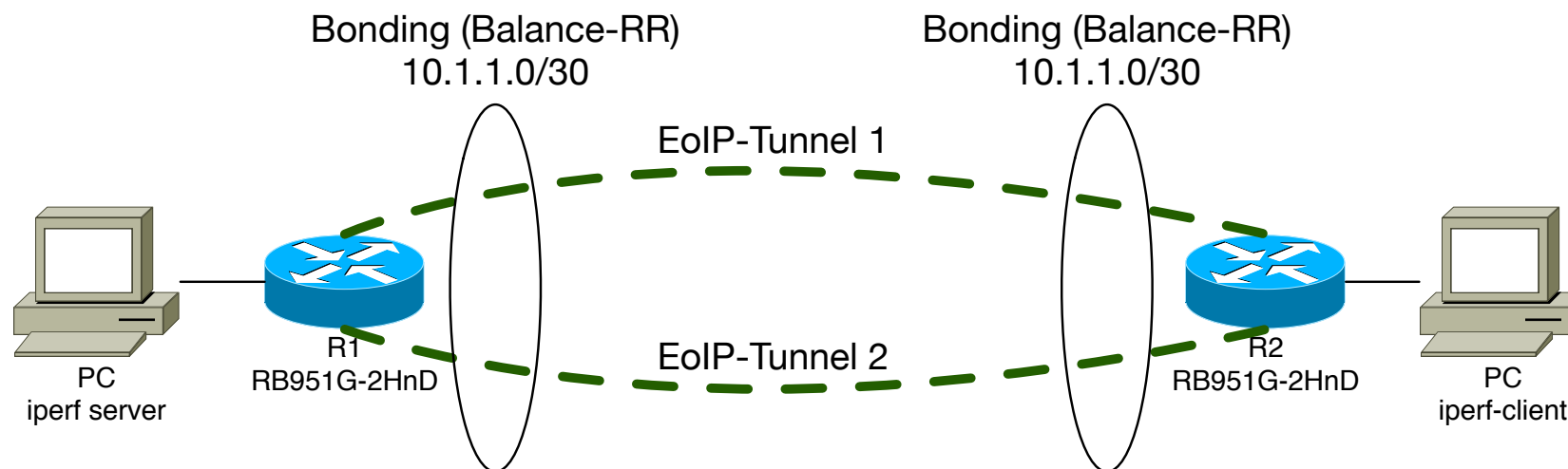
PING 192.168.0.1 (192.168.0.1): 56 data bytes

```
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=0 ttl=62 time=0.664 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=1 ttl=62 time=0.655 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=2 ttl=62 time=0.681 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=3 ttl=62 time=0.722 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=4 ttl=62 time=0.636 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=5 ttl=62 time=0.596 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=6 ttl=62 time=0.776 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=7 ttl=62 time=0.637 ms
Request timeout for icmp_seq 8
Request timeout for icmp_seq 9
Request timeout for icmp_seq 10
Request timeout for icmp_seq 11
Request timeout for icmp_seq 12
Request timeout for icmp_seq 13
Request timeout for icmp_seq 14
Request timeout for icmp_seq 15
Request timeout for icmp_seq 16
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=17 ttl=62 time=0.866 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=18 ttl=62 time=0.688 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=19 ttl=62 time=0.633 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=20 ttl=62 time=0.742 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=21 ttl=62 time=0.705 ms
```

Balance-rr

- Этот вариант использует алгоритм Round-Robin для распределения нагрузки. Каждый следующий фрейм отправляется в следующий канал
- Суммарная скорость такого объединения рассчитывается по формуле (самый медленный канал * кол-во каналов)
- Так же обеспечивается резервирование в случае отказа одного из каналов, он исключается из распределения нагрузки

Balance-rr



- Средняя скорость передачи данных составила 170 Мбит/сек
- Время переключения при пропадании основного канала 9 секунд связано с настройками keeralive EoIP-туннеля (3,3) но часть пакетов все равно проходит через исправный канал

Balance-rr



Balance-rr

```
Mac-Pro-Ila-~ ikn$ iperf -c .textClipping
Mac-Pro-Ila:~ ikn$ iperf -c 192.168.0.1 -t100 -i1
-----
Client connecting to 192.168.0.1, TCP port 5001
TCP window size: 129 KByte (default)
-----
[  4] local 192.168.1.1 port 51687 connected with 192.168.0.1 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[  4] 0.0- 1.0 sec  17.2 MBytes 145 Mbits/sec
[  4] 1.0- 2.0 sec  21.9 MBytes 184 Mbits/sec
[  4] 2.0- 3.0 sec  20.1 MBytes 169 Mbits/sec
[  4] 3.0- 4.0 sec  21.9 MBytes 184 Mbits/sec
[  4] 4.0- 5.0 sec  20.5 MBytes 172 Mbits/sec
[  4] 5.0- 6.0 sec  19.5 MBytes 164 Mbits/sec
[  4] 6.0- 7.0 sec  22.0 MBytes 185 Mbits/sec
[  4] 7.0- 8.0 sec  21.0 MBytes 176 Mbits/sec
[  4] 8.0- 9.0 sec  21.9 MBytes 184 Mbits/sec
[  4] 9.0-10.0 sec  19.1 MBytes 160 Mbits/sec
[  4] 10.0-11.0 sec 21.9 MBytes 184 Mbits/sec
[  4] 11.0-12.0 sec 21.8 MBytes 182 Mbits/sec
[  4] 12.0-13.0 sec 22.0 MBytes 185 Mbits/sec
[  4] 13.0-14.0 sec 18.1 MBytes 152 Mbits/sec
[  4] 14.0-15.0 sec 21.0 MBytes 176 Mbits/sec
[  4] 15.0-16.0 sec 19.2 MBytes 161 Mbits/sec
[  4] 16.0-17.0 sec 16.6 MBytes 139 Mbits/sec
```

```
n$ ping 192.168.0.1-PING 192.textClipping
n$ ping 192.168.0.1
PING 192.168.0.1 (192.168.0.1): 56 data bytes
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=0 ttl=62 time=14.749 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=1 ttl=62 time=14.769 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=2 ttl=62 time=9.795 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=3 ttl=62 time=13.065 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=4 ttl=62 time=11.463 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=5 ttl=62 time=14.745 ms
Request timeout for icmp_seq 6
Request timeout for icmp_seq 7
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=8 ttl=62 time=0.723 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=9 ttl=62 time=0.817 ms
Request timeout for icmp_seq 10
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=11 ttl=62 time=0.741 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=12 ttl=62 time=0.641 ms
Request timeout for icmp_seq 13
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=14 ttl=62 time=0.651 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=15 ttl=62 time=0.792 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=16 ttl=62 time=0.751 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=17 ttl=62 time=0.566 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=18 ttl=62 time=0.658 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=19 ttl=62 time=0.585 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=20 ttl=62 time=12.927 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=21 ttl=62 time=15.938 ms
```

Broadcast

- Этот вариант объединения каналов отправляет фрейм сразу во все каналы передачи данных, обеспечивая максимально возможную отказоустойчивость
- Скорость равна скорости самого медленного канала
- При неисправности одного из каналов пакет не теряется, так как доставляется одновременно по другим каналам.
- Используется при необходимости обеспечить максимальную надежность канала

Broadcast



- Средняя скорость передачи данных составила 82.8 Мбит/сек
- Время переключения при пропадании основного канала 0 секунд

Broadcast

```
$ iperf -c 192.168.0.1 -t100.textClipping
```

```
$ iperf -c 192.168.0.1 -t100 -i1
```

```
-----  
Client connecting to 192.168.0.1, TCP port 5001  
TCP window size: 129 KByte (default)  
-----
```

```
[ 4] local 192.168.1.1 port 52315 connected with 192.168.0.1 port 5001  
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth  
[ 4]  0.0- 1.0 sec  10.0 MBytes 83.9 Mbits/sec  
[ 4]  1.0- 2.0 sec  10.6 MBytes 89.1 Mbits/sec  
[ 4]  2.0- 3.0 sec  10.5 MBytes 88.1 Mbits/sec  
[ 4]  3.0- 4.0 sec  10.0 MBytes 83.9 Mbits/sec  
[ 4]  4.0- 5.0 sec   8.12 MBytes 68.2 Mbits/sec  
[ 4]  5.0- 6.0 sec  10.2 MBytes 86.0 Mbits/sec  
[ 4]  6.0- 7.0 sec  10.0 MBytes 83.9 Mbits/sec  
[ 4]  7.0- 8.0 sec  10.2 MBytes 86.0 Mbits/sec  
[ 4]  8.0- 9.0 sec  10.4 MBytes 87.0 Mbits/sec  
[ 4]  9.0-10.0 sec  10.2 MBytes 86.0 Mbits/sec  
[ 4] 10.0-11.0 sec  10.4 MBytes 87.0 Mbits/sec  
[ 4] 11.0-12.0 sec  10.4 MBytes 87.0 Mbits/sec  
[ 4] 12.0-13.0 sec  10.8 MBytes 90.2 Mbits/sec  
[ 4] 13.0-14.0 sec  10.4 MBytes 87.0 Mbits/sec  
[ 4] 14.0-15.0 sec  10.9 MBytes 91.2 Mbits/sec  
[ 4] 15.0-16.0 sec   8.38 MBytes 70.3 Mbits/sec  
[ 4] 16.0-17.0 sec   9.62 MBytes 80.7 Mbits/sec
```

```
n$ ping 192.168.0.1-PING 192.textClipping
```

```
n$ ping 192.168.0.1
```

```
PING 192.168.0.1 (192.168.0.1): 56 data bytes
```

```
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=0 ttl=62 time=0.742 ms  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=0 ttl=62 time=0.759 ms (DUP!)  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=0 ttl=62 time=0.761 ms (DUP!)  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=0 ttl=62 time=0.764 ms (DUP!)  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=1 ttl=62 time=0.726 ms  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=1 ttl=62 time=0.737 ms (DUP!)  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=1 ttl=62 time=0.739 ms (DUP!)  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=1 ttl=62 time=0.742 ms (DUP!)  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=2 ttl=62 time=0.764 ms  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=2 ttl=62 time=0.772 ms (DUP!)  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=2 ttl=62 time=0.778 ms (DUP!)  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=2 ttl=62 time=0.779 ms (DUP!)  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=3 ttl=62 time=0.650 ms  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=3 ttl=62 time=0.662 ms (DUP!)  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=3 ttl=62 time=0.664 ms (DUP!)  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=3 ttl=62 time=0.666 ms (DUP!)  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=4 ttl=62 time=0.677 ms  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=4 ttl=62 time=0.688 ms (DUP!)  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=4 ttl=62 time=0.690 ms (DUP!)  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=4 ttl=62 time=0.692 ms (DUP!)  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=5 ttl=62 time=0.598 ms  
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=5 ttl=62 time=0.605 ms (DUP!)
```

Полезные ссылки

- Настройка BCP
[https://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:BCP_bridging_\(PPP_tunnel_bridging\)](https://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:BCP_bridging_(PPP_tunnel_bridging))
- Настройка VPLS
https://wiki.mikrotik.com/wiki/Transparently_Bridge_two_Networks_using_MPLS

СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ