



Εργαστήριο Δικτύων Υπολογιστών

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 11
ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ IPV6

Κουστένης Χρίστος | el20227 | 29/04/2024

Άσκηση 1: Εισαγωγή στο IPv6

1.1

PC1 & PC2

vi /etc/rc.conf --> Προσθήκη ζητούμενης γραμμής

1.2

service netif restart

1.3

fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0

1.4

fe80::a00:27ff:fea6:a1b%em0

1.5

Οι παραπάνω διευθύνσεις είναι link-local και έχουν παραχθεί έχοντας ως πρώτα 64 bit το fe80::/64 και ως τελευταία 64 την EUI-64 MAC address, ο καθένας τη δική του.

Για παράδειγμα, όσον αφορά το PC1 παράχθηκε ως εξής:

- Πρώτα 64: fe80::/64
- Τελευταία 64: Από την MAC address 08:00:27:e4:eb:b8, αντιστρέφουμε το 7ο bit του πρώτου byte (08= 0000 , οπότε και γίνεται και στη συνέχεια παρεμβάλουμε τα ff:fe στη μέση της MAC, οπότε γίνεται 0a:00:27:ff:fe:e4:eb:b8. Συνενώνοντας τα παραπάνω παίρνουμε fe80:0000:0000:0000:0a00:27ff:fee4:ebb8, τα οποία απλοποιούνται στο **fe80::a00:27ff:fee4:ebb8**

```
root@PC:~ # ifconfig em0
em0: flags=8863<UP,BROADCAST,RUNNING,SIMPLEX,MULTICAST> metric 0 mtu 1500
    options=481009b<RXCSUM,TXCSUM,VLAN_MTU,VLAN_HWTAGGING,VLAN_HWCSUM,VLAN_H
WFILTER,NOMAP>
    ether 08:00:27:e4:eb:b8
    inet6 fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0 prefixlen 64 scopeid 0x1
    media: Ethernet autoselect (1000baseT <full-duplex>)
    status: active
    nd6 options=23<PERFORMNUD,ACCEPT_RTADV,AUTO_LINKLOCAL>
```

1.6

netstat -rn6 --> PC1

```

root@PC:~ # netstat -rn6
Routing tables

Internet6:
Destination                                Gateway                                Flags      Netif
Expire
::/96                                       ::1                                    URS        lo0
::1                                         link#2                                UHS        lo0
::ffff:0.0.0.0/96                          ::1                                    URS        lo0
fe80::/10                                   ::1                                    URS        lo0
fe80::%em0/64                              link#1                                U          em0
fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0               link#1                                UHS        lo0
fe80::%lo0/64                              link#2                                U          lo0
fe80::1%lo0                                link#2                                UHS        lo0
ff02::/16                                   ::1                                    URS        lo0
root@PC:~ #

```

Βλέπουμε 9 εγγραφές.

1.7

Μία.

1.8

fe80::%em0/64

fe80::%lo0/64

1.9

Το ίδιο το PC1.

1.10

ping6 fe80::a00:27ff:fee4:ebb8 --> Αποτυχία

Πρέπει να προστεθεί το %em0.

```

root@PC:~ # ping6 fe80::a00:27ff:fee4:ebb8
ping6: UDP connect: Network is unreachable
root@PC:~ # ping6 fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0
PING6(56=40+8+8 bytes) fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0 --> fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0
16 bytes from fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0, icmp_seq=0 hlim=64 time=0.349 ms
16 bytes from fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0, icmp_seq=1 hlim=64 time=0.113 ms
16 bytes from fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0, icmp_seq=2 hlim=64 time=0.746 ms
^C
--- fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0 ping6 statistics ---
3 packets transmitted, 3 packets received, 0.0% packet loss
round-trip min/avg/max/std-dev = 0.113/0.403/0.746/0.261 ms
root@PC:~ #

```

1.11

Όμοια με πριν απαιτείται το %em0 στο τέλος.

1.12

Κάνοντας το ping6 από το PC1 στην διεύθυνση που αφορά όλους τους κόμβους στη τοπική διεπαφή, απαντάει προφανώς μόνο το PC1.

1.13

Παρατηρούμε ότι απαντάνε και τα 2 PC, αφού η διεύθυνση **ff02::1** αφορά όλους τους κόμβους στην τοπική ζεύξη.

```
root@PC:~ # ping6 ff02::1%em0
PING6(56=40+8+8 bytes) fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0 --> ff02::1%em0
16 bytes from fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0, icmp_seq=0 hlim=64 time=0.181 ms
16 bytes from fe80::a00:27ff:fea6:a1b%em0, icmp_seq=0 hlim=64 time=6.489 ms(DUP!)
16 bytes from fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0, icmp_seq=1 hlim=64 time=0.362 ms
16 bytes from fe80::a00:27ff:fea6:a1b%em0, icmp_seq=1 hlim=64 time=9.283 ms(DUP!)
16 bytes from fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0, icmp_seq=2 hlim=64 time=0.167 ms
16 bytes from fe80::a00:27ff:fea6:a1b%em0, icmp_seq=2 hlim=64 time=8.965 ms(DUP!)
```

1.14

PC1

```
ifconfig em0 inet6 fd00:1::2/64
```

1.15

PC2

```
ifconfig em0 inet6 fd00:1::3/64
```

1.16

Είναι διευθύνσεις μη δρομολογούμενες στο δημόσιο διαδίκτυο, αντίστοιχες με τις ιδιωτικές διευθύνσεις στο IPv4, 10.0.0.0/8, 172.16.0.0/12 και 192.168.0.0/16.

1.17

Υπάρχουν πλέον από 2 σε κάθε PC.

1.18

Προστέθηκαν 2 νέες εγγραφές, σύνολο 11 πλέον.

Internet6:			
Destination	Gateway	Flags	Netif
Expire			
::/96	:::1	URS	lo0
:::1	link#2	UHS	lo0
::ffff:0.0.0.0/96	:::1	URS	lo0
fd00:1::/64	link#1	U	em0
fd00:1:::2	link#1	UHS	lo0
fe80::/10	:::1	URS	lo0
fe80::%em0/64	link#1	U	em0
fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0	link#1	UHS	lo0
fe80::%lo0/64	link#2	U	lo0
fe80::1%lo0	link#2	UHS	lo0
ff02::/16	:::1	URS	lo0

1.19

Θα τροποποιήσουμε το αρχείο /etc/hosts σε κάθε PC προσθέτοντας τις παρακάτω γραμμές στα PC1 και PC2 αντίστοιχα.

```
fe80::a00:27ff::fea6:a1b%em0 PC2 PC2
```

```
fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0 PC1 PC1
```

1.20

Ναι.

1.21

```
arp -a
```

1.22

```
man ndp
```

1.23

```
ndp -a
```

1.24

3, σε όσες κάναμε ping6 προηγουμένως. Η 2^η (PC2) είναι stale ενώ οι άλλες δύο Reachable.

```
root@PC:~ # ndp -a
Neighbor          Linklayer Address  Netif  Expire      1s 5s
fd00:1::2         08:00:27:e4:eb:b8   em0    permanent  R
fe80::a00:27ff:fea6:a1b%em0  08:00:27:a6:0a:1b   em0    23h46m50s  S
fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0  08:00:27:e4:eb:b8   em0    permanent  R
```

1.25

```
ndp -p
```

Όχι, δεν υπάρχουν εγγραφές.

1.26**ndp -c**

1.27

1.28

Βλέπουμε 6 IPv6 πακέτα, ένα Neighbor Solicitation με το οποίο ο PC1 ρωτάει για τη MAC του PC2, ένα Neighbor Advertisement που περιέχει την απάντηση στο παραπάνω και στη συνέχεια το ICMPv6 Request και Reply. Τέλος βλέπουμε άλλο ένα ζεύγος NS NA, με την αντίστροφη όμως φορά επικοινωνίας.

1.29

Μεταφέρονται μηνύματα του πρωτοκόλλου ICMPv6, τα οποία προσδιορίζονται από την τιμή 58 του πεδίου next-header.

1.30

- 1) PC1 → PC2 (Neighbor Solicitation)
 - 2) PC2 → PC1 (Neighbor Advertisement)
 - 3) PC1 → PC2 (ICMPv6 Echo Request)
 - 4) PC2 → PC1 (ICMPv6 Echo Reply)
-

1.31

Το πρώτο πακέτο που καταγράψαμε έχει διεύθυνση προορισμού την **ff02::1:ffa6:a1b**. Η διεύθυνση αυτή προκύπτει προσθέτοντας στο πρόθεμα **ff02:0:0:0:1:ff00:0/104** τα τελευταία 24 bit της unicast διεύθυνσης του προορισμού. Εν προκειμένω, προορισμός ήταν η διεύθυνση του PC2 (**fe80::a00:27ff:fea6:a1b**), εκ της οποίας τελευταία 24 bits είναι τα **a6:a1b**, οπότε και προκύπτει η παραπάνω διεύθυνση ως multicast Solicited Node.

1.32

Το δεύτερο πακέτο που καταγράψαμε έχει διεύθυνση προορισμού την **fe80::a00:27ff:fee4:ebb8**, δηλαδή την link-local address του PC1.

1.33

Η εγγραφή που αφορά το PC1 είναι σε κατάσταση Stale ενώ η διάρκεια ζωής της είναι 24 ώρες (στην αρχή).

1.34

Εκτελούμε στο PC2 « **ndp -A 2** » ώστε να εμφανίζει τον πίνακα γειτόνων ανά 2 δευτερόλεπτα. Παρατηρήσαμε τις καταστάσεις R (Reachable) και S (Stale).

```

fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0    08:00:27:e4:eb:b8    em0 7s    R
fe80::a00:27ff:fea6:a1b%em0      08:00:27:a6:0a:1b    em0 permanent R

fd00:1::3                        08:00:27:a6:0a:1b    em0 permanent R
fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0      08:00:27:e4:eb:b8    em0 5s    R
fe80::a00:27ff:fea6:a1b%em0      08:00:27:a6:0a:1b    em0 permanent R

fd00:1::3                        08:00:27:a6:0a:1b    em0 permanent R
fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0      08:00:27:e4:eb:b8    em0 2s    R
fe80::a00:27ff:fea6:a1b%em0      08:00:27:a6:0a:1b    em0 permanent R

fd00:1::3                        08:00:27:a6:0a:1b    em0 permanent R
fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0      08:00:27:e4:eb:b8    em0 expired R
fe80::a00:27ff:fea6:a1b%em0      08:00:27:a6:0a:1b    em0 permanent R

fd00:1::3                        08:00:27:a6:0a:1b    em0 permanent R
fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0      08:00:27:e4:eb:b8    em0 23h59m58s S
fe80::a00:27ff:fea6:a1b%em0      08:00:27:a6:0a:1b    em0 permanent R

fd00:1::3                        08:00:27:a6:0a:1b    em0 permanent R
fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0      08:00:27:e4:eb:b8    em0 23h59m56s S
fe80::a00:27ff:fea6:a1b%em0      08:00:27:a6:0a:1b    em0 permanent R

```

1.35

Η κατάσταση R διαρκεί 34sec, μετά την παρέλευση των οποίων μεταπίπτει στην κατάσταση S για λίγο, προτού ξαναμπει στην κατάσταση R.

1.36

Η διάρκεια ζωής της κατάστασης S είναι ένα 24ωρο.

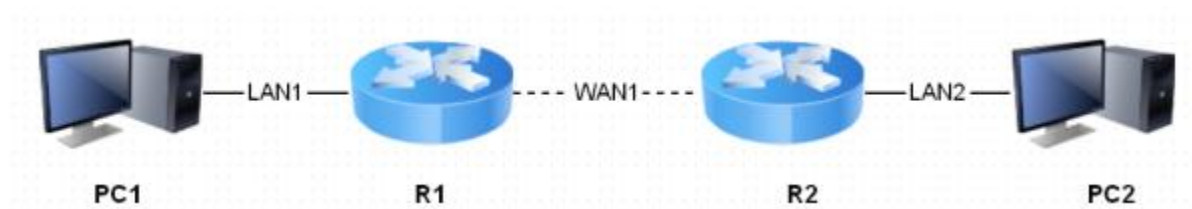
1.37

Παρατηρούμε τις ίδιες καταστάσεις, με τη διαφορά πως τώρα όταν λήξουν τα 34s της κατάστασης R, μεταβαίνουμε στην κατάσταση S όπου και ο χρόνος βαίνει μειούμενος από τις 24 ώρες χωρίς να ξαναπάμε στην κατάσταση R.

1.38

Παρατηρούμε επιπλέον πακέτα NS και NA, τα οποία επαναλαμβάνονται ανά περίπου 30s, οπότε δηλαδή λήγει η κατάσταση R.

Άσκηση 2: SLAAC και Στατική δρομολόγηση IPv6



2.1

`sysrc ipv6_gateway_enable="YES" --> R1, R2`

`service routing restart --> R1, R2`

2.2

`ifconfig em0 inet6 fd00:1::3/64 delete`

`ifconfig em0 inet6 fd00:2::2/64`

2.3

```
root@R1:~ # vtysh
Hello, this is FRRouting (version 8.5.4).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.

R1# configure
R1(config)# interface em0
R1(config-if)# ipv6 address fd00:1::1/64
```

2.4

```
R1(config-if)# exit
R1(config)# interface em1
R1(config-if)# ipv6 address fd00:3::1/126
```

2.5

```
root@R2:~ # vtysh
Hello, this is FRRouting (version 8.5.4).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.

R2# configure terminal
R2(config)# interface em0
R2(config-if)# ipv6 address fd00:2::1/64
```

2.6

```
R2(config-if)# exit
R2(config)# interface em1
R2(config-if)# ipv6 address fd00:3::2/126
R2(config-if)# █
```

2.7

`route -6 add default fd00:1::1 --> PC1`

2.8

`route -6 add default fd00:2::1 --> PC2`

2.9

`tcpdump -vi em0 --> R1`

2.10

```

root@PC:~ # ndp -c
root@PC:~ # ping6 -c 1 PC2
PING6(56=40+8+8 bytes) fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0 --> fe80::a00:27ff:fea6:a1b%em0

--- PC2 ping6 statistics ---
1 packets transmitted, 0 packets received, 100.0% packet loss
root@PC:~ # █

```

Όπως βλέπουμε παραπάνω το ping δεν είναι επιτυχές. Το PC1 κάνει στην αρχή NS, ώστε να μάθει που είναι το PC2, χωρίς ωστόσο να παίρνει απάντηση αφού ούτε ο R1 γνωρίζει.

2.11

Όπως βλέπουμε, παράχθηκαν 3 NS με προορισμό την ff02::1:ffa6:a1b, δηλαδή την Solicited Node του PC2.

```

root@R1:~ # tcpdump -vi em0
tcpdump: listening on em0, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
16:20:51.635918 IP6 (hlim 255, next-header ICMPv6 (58) payload length: 32) fe80::a00:27ff:fee4:ebb8 > ff02::1:ffa6:a1b: [icmp6 sum ok] ICMP6, neighbor solicitation, length 32, who has fe80::a00:27ff:fea6:a1b
    source link-address option (1), length 8 (1): 08:00:27:e4:eb:b8
16:20:52.658409 IP6 (hlim 255, next-header ICMPv6 (58) payload length: 32) fe80::a00:27ff:fee4:ebb8 > ff02::1:ffa6:a1b: [icmp6 sum ok] ICMP6, neighbor solicitation, length 32, who has fe80::a00:27ff:fea6:a1b
    source link-address option (1), length 8 (1): 08:00:27:e4:eb:b8
16:20:53.656862 IP6 (hlim 255, next-header ICMPv6 (58) payload length: 32) fe80::a00:27ff:fee4:ebb8 > ff02::1:ffa6:a1b: [icmp6 sum ok] ICMP6, neighbor solicitation, length 32, who has fe80::a00:27ff:fea6:a1b
    source link-address option (1), length 8 (1): 08:00:27:e4:eb:b8
█

```

2.12

```
R1(config)# ipv6 route fd00:2::/64 fd00:3::2
```

2.13

Ακόμα δε μπορούμε να κάνουμε ping, καθώς δε μπορεί να δρομολογήσει ο R2 την απάντηση προς το PC1.

2.14

```
R2(config)# ipv6 route fd00:1::/64 fd00:3::1
```

2.15

Πλέον το ping επιτυγχάνει, όσον αφορά τη στατική διεύθυνση fd00:2::2 που ορίσαμε στον PC2.

```
root@PC:~ # ping6 -c 1 fd00:2::2
PING6(56=40+8+8 bytes) fd00:1::2 --> fd00:2::2
16 bytes from fd00:2::2, icmp_seq=0 hlim=62 time=28.122 ms

--- fd00:2::2 ping6 statistics ---
1 packets transmitted, 1 packets received, 0.0% packet loss
round-trip min/avg/max/std-dev = 28.122/28.122/28.122/0.000 ms
root@PC:~ #
```

```
16:47:46.190249 IP6 (hlim 255, next-header ICMPv6 (58) payload length: 32) fd00:1::2 > ff02::1:ff00:1: [icmp6 sum ok] ICMP6, neighbor solicitation, length 32, who has fd00:1::1
    source link-address option (1), length 8 (1): 08:00:27:e4:eb:b8
16:47:46.190391 IP6 (hlim 255, next-header ICMPv6 (58) payload length: 32) fd00:1::1 > fd00:1::2: [icmp6 sum ok] ICMP6, neighbor advertisement, length 32, tgt is fd00:1::1, Flags [router, solicited, override]
    destination link-address option (2), length 8 (1): 08:00:27:68:df:08
16:47:46.191298 IP6 (hlim 64, next-header ICMPv6 (58) payload length: 16) fd00:1::2 > fd00:2::2: [icmp6 sum ok] ICMP6, echo request, seq 0
16:47:46.217130 IP6 (hlim 62, next-header ICMPv6 (58) payload length: 16) fd00:2::2 > fd00:1::2: [icmp6 sum ok] ICMP6, echo reply, seq 0
16:47:51.229860 IP6 (hlim 255, next-header ICMPv6 (58) payload length: 32) fd00:1::1 > fd00:1::2: [icmp6 sum ok] ICMP6, neighbor solicitation, length 32, who has fd00:1::2
    source link-address option (1), length 8 (1): 08:00:27:68:df:08
16:47:51.231239 IP6 (hlim 255, next-header ICMPv6 (58) payload length: 24) fd00:1::2 > fd00:1::1: [icmp6 sum ok] ICMP6, neighbor advertisement, length 24, tgt is fd00:1::2, Flags [solicited]
```

2.16

Εκτελούμε στο R1 σε GCM

```
interface em0
no ipv6 nd suppress-ra
```

2.17

ipv6 nd prefix fd00:1::/64 --> R1(config-if mode για interface em0)

2.18

```
R2(config)# interface em0
R2(config-if)# no ipv6 nd suppress-ra
```

2.19

```
R2(config-if)# ipv6 nd prefix fd00:2::/64
```

2.20

`route -6 delete default fd00:1::1 --> PC1`

2.21

`tcpdump -eni em0 icmp6 --> R1`

2.22

`service netif restart`

2.23

Έχουμε τα παρακάτω πακέτα:

1) Το PC1 στέλνει multicast IPv6 over Ethernet στη MAC address 33:33:00:00:00:16, η οποία παράχθηκε βάζοντας στην αρχή το πρόθεμα 33:33 και στη συνέχεια τα τελευταία 32 bits της IPv6 προορισμού, η οποία εν προκειμένω είναι η ff02::16.

2) Το PC1 στέλνει Router Solicitation στο MAC/IPv6 destination 33:33:00:00:00:02 / ff02::2, ώστε να ζητήσει να λαμβάνει μηνύματα RA.

3) Ο R1 απαντάει στο destination MAC/IPv6 33:33:00:00:00:01 / ff02::1 με Router Advertisement.

4) Το PC1 στέλνει Neighbour Solicitation (destination MAC 33:33:ff:9a:03:c1, IPv6 source: :: (ακαθόριστη), IPv6 destination: ff02::1:ffe4:ebb8 το οποίο είναι το solicited node του προορισμού), με το οποίο ρωτάει αν έχει κανείς την IPv6 του. (Δεν λαμβάνει απάντηση)

```
root@R1:~ # tcpdump -eni em0
tcpdump: verbose output suppressed, use -v or -vv for full protocol decode
listening on em0, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
17:44:45.924459 08:00:27:e4:eb:b8 > 33:33:00:00:00:16, ethertype IPv6 (0x86dd),
length 90: fe80::a00:27ff:fee4:ebb8 > ff02::16: HBH ICMP6, multicast listener re
port v2, 1 group record(s), length 28
17:44:48.857469 08:00:27:e4:eb:b8 > 33:33:00:00:00:02, ethertype IPv6 (0x86dd),
length 70: fe80::a00:27ff:fee4:ebb8 > ff02::2: ICMP6, router solicitation, lengt
h 16
17:44:48.857754 08:00:27:68:df:08 > 33:33:00:00:00:01, ethertype IPv6 (0x86dd),
length 110: fe80::a00:27ff:fe68:df08 > ff02::1: ICMP6, router advertisement, len
gth 56
17:44:48.869712 08:00:27:e4:eb:b8 > 33:33:ff:e4:eb:b8, ethertype IPv6 (0x86dd),
length 86: :: > ff02::1:ffe4:ebb8: ICMP6, neighbor solicitation, who has fd00:1:
:a00:27ff:fee4:ebb8, length 32
```

2.24

Το συγκεκριμένο NS χρησιμοποιείται για την ανίχνευση ταυτόσημων διευθύνσεων (DAD), ώστε να ορίσει σωστά τη διεύθυνσή του.

2.25

Βλέπουμε πως χρησιμοποιείται η undefined "::", καθώς δεν έχει ακόμα διεύθυνση μέχρι και το 2° NS.

2.26

Source IPv6 address in RS : **fe80::a00:27ff:fee4:ebb8**

2.27

- NS → ff02::1:ffe4:ebb8 (Solicited node)
 - RS → ff02::2 (Multicast)
 - RA → ff02::1 (Multicast)
-

2.28

- NS → 33:33:ff:e4:3b:b8
 - RS → 33:33:00:00:00:02
 - RA → 33:33:00:00:00:01
-

βλ. 2.23

2.29

```
root@PC:~ # ndp -p
fd00:1::/64 if=em0
flags=LA0 vlttime=2592000, pltime=604800, expire=%s, ref=1
  advertised by
    fe80::a00:27ff:fe68:df08%em0 (reachable)
```

Εντοπίζονται οι σημαίες «L», «A» και «O». Όταν τίθεται, η σημαία L δηλώνει ότι το πρόθεμα είναι on-link στην τοπική ζεύξη. Σχετικές με το SLAAC είναι οι δύο τελευταίες.

Όταν τίθεται η σημαία «A»(autonomous), οι τοπικοί κόμβοι χρησιμοποιούν τα προθέματα για τη λειτουργία αυτόματης ρύθμισης διευθύνσεων IPv6. Εάν το μήνυμα RA περιέχει τη σημαία «O» (other configuration), τότε ο κόμβος μετά την αυτόματη ρύθμιση της διεύθυνσής του, θα ζητήσει επιπλέον πληροφορία με stateless DHCPv6.

2.30

```
inet6 fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0 prefixlen 64 scopeid 0x1
inet6 fd00:1::a00:27ff:fee4:ebb8 prefixlen 64 autoconf
```

2.31

Υπάρχει και προέκυψε μέσω του router advertisement. Έτσι, παρόν κόμβος PC1 πρόσθεσε τη διεπαφή em0 στην default Router List όπως βλέπουμε παρακάτω :

```
root@PC:~ # ndp -r
fe80::a00:27ff:fe68:df08%em0 if=em0, flags=, pref=medium, expire=22m30s
```

2.32

Από το PC2 μπορούμε να κάνουμε ping μόνο στην 2^η διεύθυνση του PC1, ενώ από το R1 και στις 2, καθώς είναι στο ίδιο LAN, οπότε μπορεί να επικοινωνήσει και με τη link-local address.

Άσκηση 3: Δυναμική δρομολόγηση IPv6

3.1

```
R1(config)# no ipv6 route fd00:2::/64 fd00:3::2
R1(config)#
```

```
R2(config)# no ipv6 route fd00:1::/64 fd00:3::1
R2(config)#
```

3.2

PC1 & PC2

router ripng

network em0

network em1

3.3

Βλέπουμε μία μόνο εγγραφή.

```
R1(config-router)# do show ipv6 route ripng
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIPng,
       O - OSPFv3, I - IS-IS, B - BGP, T - Table, v - VNC,
       V - VNC-Direct, A - Babel, f - OpenFabric,
       > - selected route, * - FIB route, q - queued, r - rejected, b - backup
       t - trapped, o - offload failure

R>* fd00:2::/64 [120/2] via fe80::a00:27ff:fea8:5cd9, em1, weight 1, 00:18:44
R1(config-router)#
```

3.4

Επόμενος κόμβος για το `fd00:2::/64` είναι η `fe80::a00:27ff:fea8:5cd9`, δηλαδή η link local address του em1 του R2.

3.5

Μπορούμε χρησιμοποιώντας την private address :

```
ping6 -c 1 fd00:2::2
```

3.6

```
tcpdump -vvvni em1
```

3.7

Παρατηρούμε, αρχικά, ένα πακέτο ripng-request ($R1_{em1} \rightarrow ff02::9$) ακολουθούμενο από ένα πακέτο ripng-response ($R2_{em1} \rightarrow R1_{em1}$), όπου $R1_{em1}$, $R2_{em1}$ οι link-local διευθύνσεις τους. Μετά βλέπουμε την διαδικασία Neighbour discovery και ύστερα ακολουθούν πακέτα ripng-response εκπεμπόμενα από τις WAN διεπαφές των R1, R2. Το μεν R1 στέλνει διαφημίσεις για το LAN1 και το WAN1, ενώ το R2 για το LAN2 και το WAN1. Διεύθυνση προορισμού σε αυτά είναι η `ff02::9`, η οποία αποτελεί multicast address για RIP routers.

```
20:59:33.843865 IP6 (class 0xc0, hlim 255, next-header UDP (17) payload length:
52) fe80::a00:27ff:fe92:86a1.521 > ff02::9.521: [udp sum ok] ripng-resp 2:
    fd00:1::/64 (1)
    fd00:3::/126 (1)
20:59:48.953618 IP6 (class 0xc0, hlim 255, next-header UDP (17) payload length:
52) fe80::a00:27ff:fea8:5cd9.521 > ff02::9.521: [udp sum ok] ripng-resp 2:
    fd00:2::/64 (1)
    fd00:3::/126 (1)
21:00:11.862354 IP6 (class 0xc0, hlim 255, next-header UDP (17) payload length:
52) fe80::a00:27ff:fe92:86a1.521 > ff02::9.521: [udp sum ok] ripng-resp 2:
    fd00:1::/64 (1)
    fd00:3::/126 (1)
21:00:23.982237 IP6 (class 0xc0, hlim 255, next-header UDP (17) payload length:
52) fe80::a00:27ff:fea8:5cd9.521 > ff02::9.521: [udp sum ok] ripng-resp 2:
    fd00:2::/64 (1)
    fd00:3::/126 (1)
21:00:29.883010 IP6 (class 0xc0, hlim 255, next-header UDP (17) payload length:
52) fe80::a00:27ff:fe92:86a1.521 > ff02::9.521: [udp sum ok] ripng-resp 2:
    fd00:1::/64 (1)
    fd00:3::/126 (1)
```

3.8

Το `hop_limit` έχει τιμή 255, ώστε να διασφαλιστεί ότι δε θα περάσει από ενδιάμεσο δρομολογητή.

3.9

Χρησιμοποιείται το UDP και η θύρα 521, ενώ στο RIP είχαμε μεν UDP, αλλά χρησιμοποιούνταν η θύρα 520.

3.10

R1 & R2

no router ripng

3.11

R1 & R2(GCM)

do write memory

3.12

service frr restart (στο κανονικό terminal)

3.13

R1

router ospf6

router-id 1.1.1.1

R2

router ospf6

router-id 2.2.2.2

3.14

R1

interface em0 --> config-if mode

ipv6 ospf6 area 0.0.0.0

interface em1 --> config-if mode

ipv6 ospf6 area 0.0.0.0

3.15

R2

interface em0 --> config-if mode

ipv6 ospf6 area 0.0.0.0

interface em1 --> config-if mode

ipv6 ospf6 area 0.0.0.0

3.16

Βλέπουμε τις παρακάτω 3 εγγραφές. Το κόστος για το LAN1 (πρώτη εγγραφή) είναι 200 (100+100), ενώ για τα LAN2 και WAN1 (δεύτερη και τρίτη εγγραφή αντίστοιχα) είναι 100, καθώς το R2 είναι άμεσα συνδεδεμένο με αυτά.

```
R2(config)# do show ipv6 route ospf6
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIPng,
        O - OSPFv3, I - IS-IS, B - BGP, T - Table, v - VNC,
        V - VNC-Direct, A - Babel, f - OpenFabric,
        > - selected route, * - FIB route, q - queued, r - rejected, b - backup
        t - trapped, o - offload failure

O>* fd00:1::/64 [110/200] via fe80::a00:27ff:fe92:86a1, em1, weight 1, 00:18:27
O   fd00:2::/64 [110/100] is directly connected, em0, weight 1, 00:18:36
O   fd00:3::/126 [110/100] is directly connected, em1, weight 1, 00:18:32
```

3.17

Είναι η διεύθυνση **fe80::a00:27ff:fe92:86a1**, η οποία αποτελεί την link-local address της em1 του R1.

3.18

R1

tcpdump -vvvni em1

3.19

Παρατηρούμε να εκπέμπονται OSPFv3 Hello πακέτα από τις διεπαφές em1 των R1 και R2, με διεύθυνση προορισμού την ff02::5, η οποία αφορά multicast διευθύνσεις OSPFIGP.

3.20

Hop Limit = 1

3.21

Βλέπουμε πως χρησιμοποιεί τον αριθμό πρωτοκόλλου 89, ίδιος δηλαδή με αυτόν του OSPFv2.

3.22

Μπορούμε να κάνουμε στην private address του PC1.(fd00:1::a00:27ff:fee4:ebb8)

3.23

R1 & R2

no router ospf6

3.24

R1 & R2

service frr restart

3.25

R1

router-id 1.1.1.1

router bgp 65010

3.26

R1

no bgp ebgp-requires-policy

3.27

R1

no bgp default ipv4-unicast

3.28

R1

neighbor fd00:3::2 remote-as 65020

3.29

R1

address-family ipv6

3.30R1

```
network fd00:1::/64
```

3.31R1

```
neighbor fd00:3::2 activate
```

3.32R2

```
router-id 2.2.2.2
```

```
router bgp 65020
```

```
no bgp ebgp-requires-policy
```

```
no bgp default ipv4-unicast
```

```
neighbor fd00:3::1 remote-as 65010
```

```
address-family ipv6
```

```
network fd00:2::/64
```

```
neighbor fd00:3::1 activate
```

```
exit
```

3.33

```
do show ip bgp summary
```

```
R1(config-router)# do show ip bgp ipv6 summary

IPv6 Unicast Summary (VRF default):
BGP router identifier 1.1.1.1, local AS number 65010 vrf-id 0
BGP table version 2
RIB entries 3, using 408 bytes of memory
Peers 1, using 713 KiB of memory

Neighbor      V      AS   MsgRcvd   MsgSent   TblVer   InQ  OutQ  Up/Down  Sta
te/PfxRcd  PfxSnt Desc
fd00:3::2      4      65020     22       22        0    0    0 00:17:59
      1      2 N/A

Total number of neighbors 1
R1(config-router)#
```

3.34

```
R1(config-router)# do show ipv6 route bgp
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIPng,
        O - OSPFv3, I - IS-IS, B - BGP, T - Table, v - VNC,
        V - VNC-Direct, A - Babel, f - OpenFabric,
        > - selected route, * - FIB route, q - queued, r - rejected, b - backup
        t - trapped, o - offload failure

B>* fd00:2::/64 [20/0] via fe80::a00:27ff:fea8:5cd9, em1, weight 1, 00:01:09
```

Με “do show ipv6 route bgp” βλέπουμε μία μόνο εγγραφή, για το LAN2.

Υπενθύμιση :

show ip bgp για να δείτε τον πίνακα διαδρομών (RIB) του πρωτοκόλλου BGP.

show ip route bgp για να δείτε τις εγγραφές BGP στον πίνακα δρομολόγησης.

3.35

Διεύθυνση του επόμενου κόμβου για το LAN2 είναι η fe80::a00:27ff:fea8:5cd9, η οποία αποτελεί την link-local address της em1 του R2.

3.36

do show ip bgp ipv6 neighbors fd00:3::2 advertised-routes

```
R1(config-router)# do show ip bgp ipv6 neighbors fd00:3::2 advertised-routes
BGP table version is 2, local router ID is 1.1.1.1, vrf id 0
Default local pref 100, local AS 65010
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, = multipath,
               i internal, r RIB-failure, S Stale, R Removed
Nexthop codes: @NNN nexthop's vrf id, < announce-nh-self
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete
RPKI validation codes: V valid, I invalid, N Not found

   Network          Next Hop           Metric LocPrf Weight Path
* > fd00:1::/64      ::                  0         32768 i
* > fd00:2::/64      ::                  0         65020 i

Total number of prefixes 2
R1(config-router)#
```

Διαφημίζει τις διαδρομές προς LAN1 και LAN2 με επόμενο βήμα ::

Υπενθύμιση:

show ip bgp neighbors IPAddr advertised-routes για να δείτε τις διαδρομές που ανακοινώνει το BGP στον γείτονα IPAddr.

3.37

tcpdump -vvvni em1 not icmp6

```
Keepalive Message (4), length: 19
00:24:26.562109 IP6 (class 0xc0, flowlabel 0xb651d, hlim 1, next-header TCP (6),
payload length: 51) fd00:3::1.179 > fd00:3::2.43983: Flags [P.], cksum 0x053e (c
orrect), seq 1:20, ack 19, win 130, options [nop,nop,TS val 1429040393 ecr 58817
7420], length 19: BGP
Keepalive Message (4), length: 19
00:24:26.606535 IP6 (class 0xc0, flowlabel 0x044db, hlim 1, next-header TCP (6),
payload length: 32) fd00:3::2.43983 > fd00:3::1.179: Flags [.], cksum 0x0924 (c
orrect), seq 19, ack 20, win 130, options [nop,nop,TS val 588177473 ecr 14290403
93], length 0
00:25:26.554517 IP6 (class 0xc0, flowlabel 0x044db, hlim 1, next-header TCP (6),
payload length: 51) fd00:3::2.43983 > fd00:3::1.179: Flags [P.], cksum 0x1aca (c
orrect), seq 19:38, ack 20, win 130, options [nop,nop,TS val 588237420 ecr 14290
40393], length 19: BGP
Keepalive Message (4), length: 19
00:25:26.562457 IP6 (class 0xc0, flowlabel 0xb651d, hlim 1, next-header TCP (6),
payload length: 51) fd00:3::1.179 > fd00:3::2.43983: Flags [P.], cksum 0x3056 (c
orrect), seq 20:39, ack 38, win 130, options [nop,nop,TS val 1429100393 ecr 5882
37420], length 19: BGP
Keepalive Message (4), length: 19
00:25:26.626770 IP6 (class 0xc0, flowlabel 0x044db, hlim 1, next-header TCP (6),
payload length: 32) fd00:3::2.43983 > fd00:3::1.179: Flags [.], cksum 0x343c (c
orrect), seq 38, ack 39, win 130, options [nop,nop,TS val 588237473 ecr 14291003
93], length 0
```

3.38

Βλέπουμε μηνύματα BGP Keepalive μεταξύ των R1-R2. Χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο TCP και η θύρα (προορισμού) 179, όπως στο IPv4. (θύρα πηγής δυναμική)

3.39

Hop Limit = 1

3.40

Μπορούμε στις σημειωμένες διευθύνσεις του PC2 μόνο. Όχι στην link-local

```

root@PC:~ # ifconfig
em0: flags=8863<UP,BROADCAST,RUNNING,SIMPLEX,MULTICAST> metric 0 mtu 1500
    options=481009b<RXCSUM, TXCSUM, VLAN_MTU, VLAN_HWTAGGING, VLAN_HWCSUM, VLAN_H
WFILTER, NOMAP>
    ether 08:00:27:a6:0a:1b
    inet6 fe80::a00:27ff:fea6:a1b%em0 prefixlen 64 scopeid 0x1
    inet6 fd00:2::2 prefixlen 64
    inet6 fd00:2::a00:27ff:fea6:a1b prefixlen 64 autoconf
    media: Ethernet autoselect (1000baseT <full-duplex>)
    status: active
    nd6 options=23<PERFORMNUD, ACCEPT_RTADV, AUTO_LINKLOCAL>
lo0: flags=8049<UP,LOOPBACK,RUNNING,MULTICAST> metric 0 mtu 16384
    options=680003<RXCSUM, TXCSUM, LINKSTATE, RXCSUM_IPV6, TXCSUM_IPV6>
    inet6 ::1 prefixlen 128
    inet6 fe80::1%lo0 prefixlen 64 scopeid 0x2
    inet 127.0.0.1 netmask 0xff000000
    groups: lo
    nd6 options=21<PERFORMNUD, AUTO_LINKLOCAL>
root@PC:~ #

```

```

root@PC:~ # ping6 PC2
PING6(56=40+8+8 bytes) fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0 --> fe80::a00:27ff:fea6:a1b%
em0
^C
--- PC2 ping6 statistics ---
3 packets transmitted, 0 packets received, 100.0% packet loss
root@PC:~ # ping6 -c 1 fd00:2::2
PING6(56=40+8+8 bytes) fd00:1::a00:27ff:fee4:ebb8 --> fd00:2::2
16 bytes from fd00:2::2, icmp_seq=0 hlim=62 time=4.011 ms

--- fd00:2::2 ping6 statistics ---
1 packets transmitted, 1 packets received, 0.0% packet loss
round-trip min/avg/max/std-dev = 4.011/4.011/4.011/0.000 ms
root@PC:~ # ping6 -c 1 fd00:2::a00:27ff:fea6:a1b
PING6(56=40+8+8 bytes) fd00:1::a00:27ff:fee4:ebb8 --> fd00:2::a00:27ff:fea6:a1b
16 bytes from fd00:2::a00:27ff:fea6:a1b, icmp_seq=0 hlim=62 time=4.969 ms

--- fd00:2::a00:27ff:fea6:a1b ping6 statistics ---
1 packets transmitted, 1 packets received, 0.0% packet loss
round-trip min/avg/max/std-dev = 4.969/4.969/4.969/0.000 ms
root@PC:~ #

```

3.41

reboot

```

root@PC:~ # vtysh

Hello, this is FRRouting (version 8.5.4).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.

PC# configure terminal
PC(config)# router-id 1.1.0.0
PC(config)# interface em0
PC(config-if)# ipv6 address fd00:1::2/64
PC(config-if)#

```

3.42

```
router bgp 65010
```

3.43

```
no bgp default ipv4-unicast
```

3.44

```
neighbor fd00:1::1 remote-as 65010
```

3.45

```
PC(config-router)# address-family ipv6
PC(config-router-af)# neighbor fd00:1::1 activate
PC(config-router-af)# exit
```

3.46

```
neighbor fd00:1::2 remote-as 65010
```

3.47

```
R1(config-router)# address-family ipv6
R1(config-router-af)# ne
neighbor network nexthop
R1(config-router-af)# neighbor fd00:
fd00:1::2 fd00:3::2
R1(config-router-af)# neighbor fd00:1::2 activate
R1(config-router-af)# neighbor fd00:1::2 next-hop-self
R1(config-router-af)# exit
R1(config-router)#
```

3.48

Με την εντολή « **do show ip bgp neighbors fd00:1::2** » στον R1 ή « **do show ip bgp neighbors fd00:1::1** » στο PC1 βλέπουμε πως αναφέρεται στην πρώτη σειρά η πληροφορία « internal link »

```
BGP neighbor is fd00:1::2, remote AS 65010, local AS 65010, internal link
  Local Role: undefined
  Remote Role: undefined
Hostname: PC
  BGP version 4, remote router ID 1.1.0.0, local router ID 1.1.1.1
  BGP state = Established, up for 00:03:19
  Last read 00:00:19, Last write 00:00:19
```

```
BGP neighbor is fd00:1::1, remote AS 65010, local AS 65010, internal link
  Local Role: undefined
  Remote Role: undefined
Hostname: R1
  BGP version 4, remote router ID 1.1.1.1, local router ID 1.1.0.0
  BGP state = Established, up for 00:05:55
```

3.49

Βλέπουμε τις παρακάτω 2 εγγραφές, για τα LAN1 και LAN2.

```
PC(config-router)# do show ipv6 route bgp
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIPng,
       O - OSPFv3, I - IS-IS, B - BGP, T - Table, v - VNC,
       V - VNC-Direct, A - Babel, f - OpenFabric,
       > - selected route, * - FIB route, q - queued, r - rejected, b - backup
       t - trapped, o - offload failure

B    fd00:1::/64 [200/0] via fe80::a00:27ff:fe68:df08, em0, weight 1, 00:07:11
B>*  fd00:2::/64 [200/0] via fd00:1::1, em0, weight 1, 00:06:42
PC(config-router)#
```

3.50

Διότι όντας άμεσα συνδεδεμένο, επιλέγει αυτή τη διαδρομή για το fd00:1::/64 (LAN1).

3.51

Είναι η **fd00:1::1**, η οποία είναι η private IPv6 address της em0 του R1

3.52

Μπορούμε να κάνουμε στις παρακάτω 2 διευθύνσεις:

```
root@PC:~ # ifconfig
em0: flags=8863<UP,BROADCAST,RUNNING,SIMPLEX,MULTICAST> metric 0 mtu 1500
    options=481009b<RXCSUM, TXCSUM, VLAN_MTU, VLAN_HWTAGGING, VLAN_HWCSUM, VLAN_H
WFILTER, NOMAP>
    ether 08:00:27:e4:eb:b8
    inet6 fe80::a00:27ff:fee4:ebb8%em0 prefixlen 64 scopeid 0x1
    inet6 fd00:1::a00:27ff:fee4:ebb8 prefixlen 64 autoconf
    inet6 fd00:1::2 prefixlen 64
    media: Ethernet autoselect (1000base1 <full-duplex>)
    status: active
    nd6 options=23<PERFORMNUD, ACCEPT_RTADV, AUTO_LINKLOCAL>
```

Αλλά όχι στην link-local.

Άσκηση 4: Μηχανισμός μετάβασης 464 XLAT

4.1

```
R1(config)# interface em0
R1(config-if)# ip address 192.168.1.1/24
```

4.2

```
R2(config)# interface em0
R2(config-if)# ip address 192.168.2.1/24
```

4.3

```
PC(config)# interface em0
PC(config-if)# ip address 192.168.1.2/24
PC(config-if)# exit
PC(config)# ip route 0.0.0.0/0 192.168.1.1
```

4.4

```
PC(config)# interface em0
PC(config-if)# ip address 192.168.2.2/24
PC(config-if)# exit
PC(config)# ip route 0.0.0.0/0 192.168.2.1
```

4.5

```
root@R1:~ # sysrc firewall_enable="YES"
firewall_enable: NO -> YES
root@R1:~ # sysrc firewall_nat64_enable="YES"
firewall_nat64_enable: NO -> YES
root@R1:~ # sysrc firewall_type="open"
firewall_type: UNKNOWN -> open
root@R1:~ # sysrc firewall_logif="YES"
firewall_logif: NO -> YES
root@R1:~ # █
```

4.6

R1

service ipfw start

4.7

Περιέχει 12 κανόνες όπως φαίνεται παρακάτω :

```
root@R1:~ # ipfw show
00100 0 0 allow ip from any to any via lo0
00200 0 0 deny ip from any to 127.0.0.0/8
00300 0 0 deny ip from 127.0.0.0/8 to any
00400 0 0 deny ip from any to ::1
00500 0 0 deny ip from ::1 to any
00600 0 0 allow ipv6-icmp from :: to ff02::/16
00700 0 0 allow ipv6-icmp from fe80::/10 to fe80::/10
00800 0 0 allow ipv6-icmp from fe80::/10 to ff02::/16
00900 0 0 allow ipv6-icmp from any to any icmp6types 1
01000 0 0 allow ipv6-icmp from any to any icmp6types 2,135,136
65000 3 254 allow ip from any to any
65535 0 0 deny ip from any to any
```

4.8

Μπορούμε μόνο στις διευθύνσεις που φαίνεται παρακάτω :

```
root@PC:~ # ping6 fd00:2::2
PING6(56=40+8+8 bytes) fd00:1::a00:27ff:fee4:ebb8 --> fd00:2::2
16 bytes from fd00:2::2, icmp_seq=0 hlim=62 time=4.206 ms
16 bytes from fd00:2::2, icmp_seq=1 hlim=62 time=5.159 ms
^C
--- fd00:2::2 ping6 statistics ---
2 packets transmitted, 2 packets received, 0.0% packet loss
round-trip min/avg/max/std-dev = 4.206/4.683/5.159/0.476 ms
root@PC:~ # ping6 fd00:2::a00:27ff:fea6:a1b
PING6(56=40+8+8 bytes) fd00:1::a00:27ff:fee4:ebb8 --> fd00:2::a00:27ff:fea6:a1b
16 bytes from fd00:2::a00:27ff:fea6:a1b, icmp_seq=0 hlim=62 time=4.145 ms
16 bytes from fd00:2::a00:27ff:fea6:a1b, icmp_seq=1 hlim=62 time=5.058 ms
16 bytes from fd00:2::a00:27ff:fea6:a1b, icmp_seq=2 hlim=62 time=4.772 ms
16 bytes from fd00:2::a00:27ff:fea6:a1b, icmp_seq=3 hlim=62 time=5.534 ms
^C
--- fd00:2::a00:27ff:fea6:a1b ping6 statistics ---
4 packets transmitted, 4 packets received, 0.0% packet loss
round-trip min/avg/max/std-dev = 4.145/4.877/5.534/0.503 ms
root@PC:~ # █
```

4.9

```
root@R1:~ # ipfw nat64clat nat64 create clat_prefix fd00:3:1::/96 plat_prefix 64
:ff9b::/96 allow_private log
```

4.10

```
root@R1:~ # ipfw add 2000 nat64clat nat64 ip4 from any to not me recv em0
02000 nat64clat nat64 ip4 from any to not me recv em0
```

4.11

```
root@R1:~ # ipfw add 3000 nat64clat nat64 ip6 from 64:ff9b::/96 to fd00:3:1::/96
recv em1
03000 nat64clat nat64 ip6 from 64:ff9b::/96 to fd00:3:1::/96 recv em1
```

4.12

```
R1(config)# ipv6 route 64:ff9b::/96 fd00:3::2
```

4.13

```
root@R2:~ # sysrc firewall_enable="YES"
firewall_enable: NO -> YES
root@R2:~ # sysrc firewall_nat64_enable="YES"
firewall_nat64_enable: NO -> YES
root@R2:~ # sysrc firewall_type="open"
firewall_type: UNKNOWN -> open
root@R2:~ # sysrc firewall_logif="YES"
firewall_logif: NO -> YES
root@R2:~ # service ipfw start
Flushed all rules.
00100 allow ip from any to any via lo0
00200 deny ip from any to 127.0.0.0/8
00300 deny ip from 127.0.0.0/8 to any
00400 deny ip from any to ::1
00500 deny ip from ::1 to any
00600 allow ipv6-icmp from :: to ff02::/16
00700 allow ipv6-icmp from fe80::/10 to fe80::/10
00800 allow ipv6-icmp from fe80::/10 to ff02::/16
00900 allow ipv6-icmp from any to any icmp6types 1
01000 allow ipv6-icmp from any to any icmp6types 2,135,136
65000 allow ip from any to any
Firewall rules loaded.
Firewall logging pseudo-interface (ipfw0) created.
root@R2:~ #
```

4.14

```
root@R2:~ # ipfw nat64lns nat64 create prefix6 64:ff9b::/96 prefix4 2.2.2.0/24 allow_private log
```

4.15

```
root@R2:~ # ipfw add 2000 nat64lns nat64 ip6 from fd00:3:1::/96 to 64:ff9b::/96
recv em1
02000 nat64lns nat64 ip6 from fd00:3:1::/96 to 64:ff9b::/96 recv em1
```

4.16

```
root@R2:~ # ipfw add 3000 nat64lns nat64 ip4 from any to 2.2.2.0/24 recv em0
03000 nat64lns nat64 ip4 from any to 2.2.2.0/24 recv em0
```

4.17

```
R2(config)# ipv6 route fd00:3:1::/96 fd00:3::1
```

4.18

```
R2(config)# ip route 0.0.0.0/0 192.168.2.2
```

4.19

Ναι μπορούμε.

4.20

```
root@R1:~ # ifconfig ipfwlog0 create
root@R1:~ # tcpdump -i ipfwlog0
tcpdump: WARNING: ipfwlog0: That device doesn't support promiscuous mode
(BIOCPROMISC: Invalid argument)
tcpdump: verbose output suppressed, use -v or -vv for full protocol decode
listening on ipfwlog0, link-type PFL0G (OpenBSD pflog file), capture size 262144
bytes
```

4.21

```
root@R2:~ # ifconfig ipfwlog0 create
root@R2:~ # tcpdump -i ipfwlog0
tcpdump: WARNING: ipfwlog0: That device doesn't support promiscuous mode
(BIOCPROMISC: Invalid argument)
tcpdump: verbose output suppressed, use -v or -vv for full protocol decode
listening on ipfwlog0, link-type PFL0G (OpenBSD pflog file), capture size 262144
bytes
```

4.22

Παρατηρούμε τα παρακάτω πακέτα στα R1 και R2 αντίστοιχα.

```
05:30:45.624828 IP 192.168.1.2 > 192.168.2.2: ICMP echo request, id 34052, seq 0
, length 64
05:30:45.624950 IP6 fd00:3:1::c0a8:102 > 64:ff9b::c0a8:202: ICMP6, echo request,
seq 0, length 64
05:30:45.641513 IP6 64:ff9b::c0a8:202 > fd00:3:1::c0a8:102: ICMP6, echo reply, s
eq 0, length 64
05:30:45.641559 IP 192.168.2.2 > 192.168.1.2: ICMP echo reply, id 34052, seq 0,
length 64
```

```
05:31:03.925622 IP6 fd00:3:1::c0a8:102 > 64:ff9b::c0a8:202: ICMP6, echo request,
seq 0, length 64
05:31:03.925871 IP 2.2.2.144 > 192.168.2.2: ICMP echo request, id 1024, seq 0, l
ength 64
05:31:03.930136 IP 192.168.2.2 > 2.2.2.144: ICMP echo reply, id 1024, seq 0, len
gth 64
05:31:03.930190 IP6 64:ff9b::c0a8:202 > fd00:3:1::c0a8:102: ICMP6, echo reply, s
eq 0, length 64
```

Βλέπουμε πως αρχικά το PC1 στέλνει ένα ICMP echo request με προορισμό το PC2, των οποίων οι IPv4 διευθύνσεις πηγής και προορισμού μετατρέπονται σε IPv6 καθώς διέρχονται από το WAN1, μέχρι να μετατραπούν ξανά σε IPv4 στο LAN2. Κατά την αντίστροφη πορεία έχουμε ξανά μετατροπή από IPv4 στο LAN2 σε IPv6 στο WAN1 και ξανά σε IPv4 στο LAN1.

4.23

```
PC(config)# interface em0
PC(config-if)# ip address 172.17.17.2/24
PC(config-if)# ip address 10.0.0.2/24
PC(config-if)#
```

4.24

Ναι.

4.25

Με τις IPv4 διευθύνσεις.

4.26

```
root@R2:~ # ipfw nat64ln nat64 show states
fd00:3:1::c0a8:102      2.2.2.144      ICMPv6          9      10.0.0.2
fd00:3:1::c0a8:102      2.2.2.144      ICMPv6          4      172.17.17.2
```

4.27

Παρατηρούμε πως ο χρόνος αναπαριστά τον χρόνο που απομένει μέχρι να διαγραφεί η εγγραφή από τον πίνακα και ανέρχεται σε περίπου 1 λεπτό.

4.28

Δεν μπορούμε γιατί τα πακέτα που ανταλλάσσονται είναι μεγαλύτερα από την MTU των PC1 και PC2. Απαιτείται θρυμματισμός ο οποίος όμως δε γίνεται από IPv6 δρομολογητές.

4.29

```
ifconfig mtu 1480
```

Ναι τώρα επιτυγχάνει.

Άσκηση 5: Μηχανισμός μετάβασης Teredo

5.1

PC1 & PC2

```
dhclient em0
```

```
ping www.google.com --> Επιτυγχάνει
```

5.2

PC1 & PC2

```
pkg install miredo
```

5.3

PC1 & PC2

```
sysrc miredo_enable="YES"
```

5.4

```
#ServerAddress teredo.ipv6.microsoft.com
#ServerAddress teredo.ginzado.ne.jp
ServerAddress teredo.iks-jena.de
#ServerAddress teredo.remlab.net
#ServerAddress2 teredo2.remlab.net

## RELAY-SPECIFIC OPTIONS
#Prefix 2001:0::
#InterfaceMTU 1280
/usr/local/etc/miredo/miredo.conf: 35 lines, 1169 characters.
root@PC:~ # service miredo start
Starting miredo.
root@PC:~ #
```

5.5

Βλέπουμε την επιπλέον διεπαφή teredo με IPv6 address: 2001:0:d911:c0d9:4d1:eea:a1be:675e/128

```
teredo: flags=43<UP,BROADCAST,RUNNING> metric 0 mtu 1500
options=80000<LINKSTATE>
inet6 fe80::ffff:ffff:ffff%teredo prefixlen 64 scopeid 0x3
inet6 2001:0:d911:c0d9:4d1:eea:a1be:675e prefixlen 128
groups: tun
nd6 options=21<PERFORMNUD,AUTO_LINKLOCAL>
Opened by PID 979
```

5.6

```
root@PC:~ # tcpdump -ni em0
tcpdump: verbose output suppressed, use -v or -vv for full protocol decode
listening on em0, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
23:50:52.890595 IP 10.0.2.15.27457 > 217.17.192.217.3544: UDP, length 61
23:50:52.942796 IP 217.17.192.217.3544 > 10.0.2.15.27457: UDP, length 117
```

5.7

Είναι **217.17.192.217**

5.8

Χρησιμοποιείται το UDP στο Transport Layer και η θύρα 3544.

5.9

Παρατηρούμε πακέτα ICMPv6.

teredo						
No.	Time	Length	Source	Destination	Protocol	Info
43	0.000000	103	fe80::ffff:fff...	ff02::2	ICMPv6	Router Solicitation
44	0.049931	159	fe80::8000:f22...	fe80::ffff:fff...	ICMPv6	Router Advertisement
76	5.574867	103	fe80::ffff:fff...	ff02::2	ICMPv6	Router Solicitation
77	0.052670	159	fe80::8000:f22...	fe80::ffff:fff...	ICMPv6	Router Advertisement

5.10

To prefix 2001:0:d911:c0d9::

Source Address: 217.17.192.217

▼ ICMPv6 Option (Prefix information : 2001:0:d911:c0d9::/64)
Type: Prefix information (3)
Length: 4 (32 bytes)
Prefix Length: 64
▶ Flag: 0x40, Autonomous address-configuration flag(A)
Valid Lifetime: Infinity (4294967295) (49710 days, 6 hours, 28 minutes, 15 seconds)
Preferred Lifetime: Infinity (4294967295) (49710 days, 6 hours, 28 minutes, 15 seconds)
Reserved
Prefix: 2001:0:d911:c0d9::
▶ ICMPv6 Option (MTU : 1280)

Το πρόθεμα προκύπτει από τον μετασχηματισμό Teredo με τον παρακάτω τρόπο :

1. Πρώτα, μετατρέπουμε τη διεύθυνση IPv4 σε δεκαεξαδική μορφή :

217.17.192.217 μετατρέπεται σε D911:C0D9 (σε έξι ζεύγη δύο ψηφίων).

2. Συμπληρώνουμε το πρόθεμα 2001:0:

Άρα, το τελικό IPv6 prefix θα είναι: 2001:0:d911:c0d9::

5.11

Ναι σε όλα.

5.12

ping6 www.ntua.gr

5.13

Μηνύματα τύπου Teredo και IPv6(No next header)

72	3.373179	108	2001:0:d911:c0...	2001:648:2000:...	Teredo	Direct IPv6 Connectivity Test id=0x03d3, seq=9257, hop limit=128
83	3.160979	108	2001:0:d911:c0...	2001:648:2000:...	Teredo	Direct IPv6 Connectivity Test id=0x03d3, seq=9260, hop limit=128
91	0.388068	90	fe80::c8f:80c:...	2001:0:d911:c0...	IPv6	IPv6 no next header

5.14

Όχι.

5.15

```
root@PC1:~ # tcpdump -ni em0
tcpdump: verbose output suppressed, use -v or -vv for full protocol decode
listening on em0, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
00:37:15.416194 IP 10.0.2.15.26056 > 216.66.86.178.3545: UDP, length 56
00:37:16.436451 IP 10.0.2.15.26056 > 217.17.192.217.3544: UDP, length 61
00:37:16.436648 IP 10.0.2.15.26056 > 216.66.86.178.3545: UDP, length 56
00:37:16.497168 IP 217.17.192.217.3544 > 10.0.2.15.26056: UDP, length 117
00:37:17.509479 IP 10.0.2.15.26056 > 216.66.86.178.3545: UDP, length 56
00:37:18.332297 IP 216.66.86.178.3545 > 10.0.2.15.26056: UDP, length 56
00:37:18.520964 IP 10.0.2.15.26056 > 216.66.86.178.3545: UDP, length 56
00:37:19.560617 IP 10.0.2.15.26056 > 216.66.86.178.3545: UDP, length 56
^C
8 packets captured
8 packets received by filter
0 packets dropped by kernel
root@PC1:~ #
```

UDP, IPv4 : 216.66.86.178, port: 3545

5.16

Βλέπουμε ICMPv6 Echo requests/replies.

5.17

```
root@PC1:~ # ping6 -I teredo 2001:0:d911:c0d9:309f:13b6:a1be:675e
PING6(56=40+8+8 bytes) 2001:0:d911:c0d9:4d1:eea:a1be:675e --> 2001:0:d911:c0d9:309f:13b6:a1be:675e
^C
--- 2001:0:d911:c0d9:309f:13b6:a1be:675e ping6 statistics ---
38 packets transmitted, 0 packets received, 100.0% packet loss
root@PC1:~ #
```

5.18

Ναι.

5.19

Παράγονται και στέλνονται στην 217.17.192.217, όπως είδαμε και πριν.

5.20

Κάνοντας ping στο www.quad9.net βλέπουμε πως κάνουμε ping στη θύρα 3545 της 216.218.142.110, ενώ όταν κάνω στο www.f5.com βλέπουμε ότι επιλέγεται ο teredo relay στη θύρα 3545 της 216.66.86.186