universidade de aveiro
theoria poiesis praxis

Network Layer (Private/Public Addressing, NAT and DHCP)

Redes de Comunicações 1

Licenciatura em Engenharia de Computadores e Informática

PRIVATE ADDRESSING

2

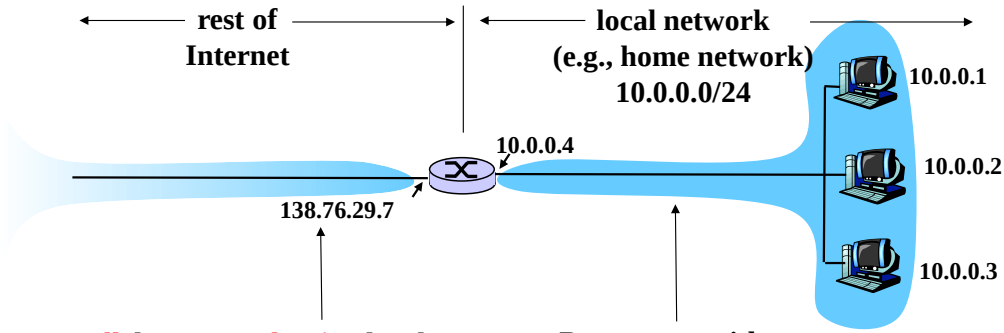
Blocks of private addresses

Prefix	Lowest address	Highest address
10/8	10.0.0.0	10.255.255.255
172.16/12	172.16.0.0	172.31.255.255
192.168/16	192.168.0.0	192.168.255.255
169.254/16	169.254.0.0	169.254.255.255

- These addresses can be used freely in private networks
- IP packets with destination addresses belonging to these blocks are not routed in the public network
- For communications with the Internet, the private addresses must be translated into public addresses

3

NAT: Network Address Translation

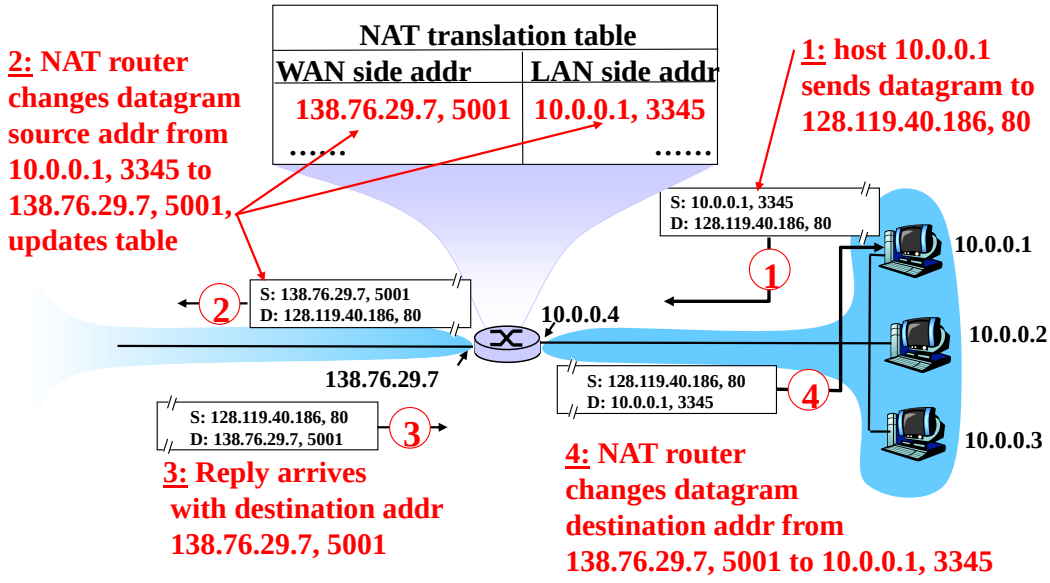


All **datagrams** ***leaving*** **local network have same single source NAT IP address: 138.76.29.7, different source port numbers**

Datagrams with source or destination in this network have 10.0.0.0/24 address for source, destination (as usual)

4

NAT: Network Address Translation



5

NAT: Network Address Translation

Implementation: NAT router must:

- *outgoing datagrams: replace* (source IP address, port #) of every outgoing datagram to (NAT IP address, new port #)
  - . . . remote clients/servers will respond using (NAT IP address, new port #) as destination addr.
- *remember (in NAT translation table)* every (source IP address, port #) to (NAT IP address, new port #) translation pair
- *incoming datagrams: replace* (NAT IP address, new port #) in dest fields of every incoming datagram with corresponding (source IP address, port #) stored in NAT table

6

NAT: Network Address Translation

- Motivation: local network uses just one IP address as far as outside world is concerned:
  - range of addresses not needed from ISP: just one (or a few) IP address for all devices
  - can change addresses of devices in local network without notifying outside world
  - can change ISP without changing addresses of devices in local network
  - devices inside local net not explicitly addressable, visible by outside world (a security additional advantage).

7

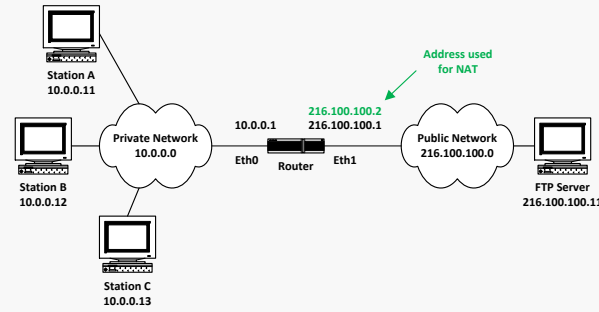
NAT: Network Address Translation

- More than one public IP address may be available (NAT versus PAT)
- 16-bit port-number field:
  - more than 60,000 simultaneous connections with a single public IP address!
- NAT is controversial:
  - routers should only process up to layer 3
  - violates end-to-end argument
    - NAT possibility must be taken into account by application designers, e.g, P2P applications
  - address shortage should instead be solved by IPv6

8

Example (I)

Access of A and B to the FTP server :



Exp6RI_c.cap : 1/22 Ethernet packets

No.	Sta	Source Address	Dest Address	Layer	Summary
1	Ok	10.0.0.12	216.100.100.11	TCP	1032->File
2	Ok	216.100.100.11	10.0.0.12	TCP	File Transfe
3	Ok	10.0.0.12	216.100.100.11	TCP	1032->File
4	Ok	216.100.100.11	10.0.0.12	FTP	220 Serv-U
5	Ok	10.0.0.12	216.100.100.11	TCP	1032->File
6	Ok	10.0.0.12	216.100.100.11	FTP	USER anonym
7	Ok	216.100.100.11	10.0.0.12	FTP	331 User na

Exp6RI_c.cap : 12/22 Ethernet packets

No.	Sta	Source Address	Dest Address	Layer	Summary
12	Ok	10.0.0.11	216.100.100.11	TCP	1033->File
13	Ok	216.100.100.11	10.0.0.11	TCP	File Transf
14	Ok	10.0.0.11	216.100.100.11	TCP	1033->File
15	Ok	216.100.100.11	10.0.0.11	FTP	220 Serv-U
16	Ok	10.0.0.11	216.100.100.11	TCP	1033->File
17	Ok	10.0.0.11	216.100.100.11	FTP	USER anonyr
18	Ok	216.100.100.11	10.0.0.11	FTP	331 User na

Captures in private network

Exp6RE_c.cap : 1/22 Ethernet packets

No.	Sta	Source Address	Dest Address	Layer	Summary
1	Ok	216.100.100.2	216.100.100.11	TCP	1032->File
2	Ok	216.100.100.11	216.100.100.2	TCP	File Transf
3	Ok	216.100.100.2	216.100.100.11	TCP	1032->File
4	Ok	216.100.100.11	216.100.100.2	FTP	220 Serv-U
5	Ok	216.100.100.2	216.100.100.11	TCP	1032->File
6	Ok	216.100.100.2	216.100.100.11	FTP	USER anonyr
7	Ok	216.100.100.11	216.100.100.2	FTP	331 User na

Exp6RE_c.cap : 12/22 Ethernet packets

No.	Sta	Source Address	Dest Address	Layer	Summary
1	Ok	216.100.100.2	216.100.100.11	TCP	1033->File
1	Ok	216.100.100.11	216.100.100.2	TCP	File Transf
1	Ok	216.100.100.2	216.100.100.11	TCP	1033->File
1	Ok	216.100.100.11	216.100.100.2	FTP	220 Serv-U
1	Ok	216.100.100.2	216.100.100.11	TCP	1033->File
1	Ok	216.100.100.2	216.100.100.11	FTP	USER anonyr
1	Ok	216.100.100.11	216.100.100.2	FTP	331 User na

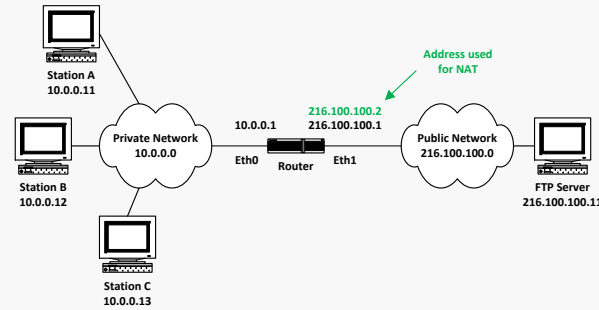
Captures in public network

9

Nesta experiência foi configurado um servidor de FTP na estação D e apenas um endereço público, o 216.100.100.2. A estação A e a estação B vão estabelecer ligações com o servidor de FTP da estação D. Os pacotes do protocolo FTP são encapsulados em pacotes TCP. A estação A abriu a sua ligação com o servidor de FTP no porto 1033, a estação B fê-lo no porto 1032. O router guardou os números dos portos na sua tabela de tradução. Quando chega um pacote do endereço 216.100.100.11 para o endereço 216.100.100.2 e para porto 1032, é enviado para a estação B. Quando chega um pacote do endereço 216.100.100.11 para o endereço 216.100.100.2 e para porto 1033, é enviado para a estação B.

Example (II)

Access of A and B to the FTP server :



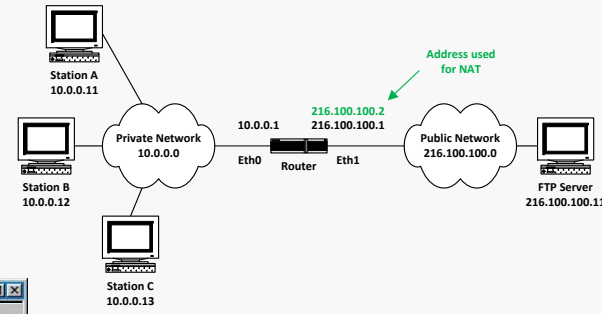

```
Router#show ip nat translation verbose
Pro Inside global      Inside local       Outside local      Outside global
tcp 216.100.100.2:1032 10.0.0.12:1032     216.100.100.11:21  216.100.100.11:21
    create 00:00:35, use 00:00:24, left 23:59:35,
    flags:
extended, use_count: 0
tcp 216.100.100.2:1033 10.0.0.11:1033     216.100.100.11:21  216.100.100.11:21
    create 00:00:12, use 00:00:06, left 23:59:53,
    flags:
extended, use_count: 0
```

10

Tabela de traduções do router correspondente à experiência anterior.

Example (III)

Second access of B to the FTP server :



Exp6RI_c2.cap : 1/11 Ethernet packets

No.	Sta	Source Address	Dest Address	Layer	Summary
1	Ok	10.0.0.12	216.100.100.11	TCP	1033->File
2	Ok	216.100.100.11	10.0.0.12	TCP	File Trans
3	Ok	10.0.0.12	216.100.100.11	TCP	1033->File
4	Ok	216.100.100.11	10.0.0.12	FTP	220 Serv-U
5	Ok	10.0.0.12	216.100.100.11	TCP	1033->File
6	Ok	10.0.0.12	216.100.100.11	FTP	USER anonyr
7	Ok	216.100.100.11	10.0.0.12	FTP	331 User na

private network

Exp6RE_c2.cap : 1/11 Ethernet packets

No.	Sta	Source Address	Dest Address	Layer	Summary
1	Ok	216.100.100.2	216.100.100.11	TCP	1024->File
2	Ok	216.100.100.11	216.100.100.2	TCP	File Trans
3	Ok	216.100.100.2	216.100.100.11	TCP	1024->File
4	Ok	216.100.100.11	216.100.100.2	FTP	220 Serv-U
5	Ok	216.100.100.2	216.100.100.11	TCP	1024->File
6	Ok	216.100.100.2	216.100.100.11	FTP	USER anonyr
7	Ok	216.100.100.11	216.100.100.2	FTP	331 User na

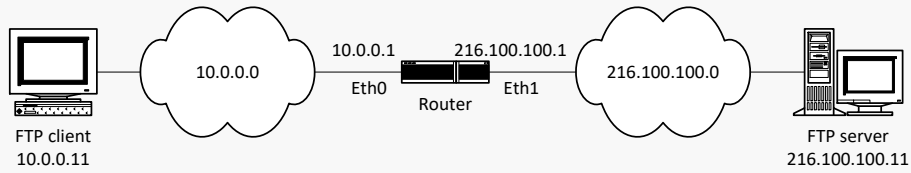
public network

```
Router#show ip nat translation verbose
Pro Inside global      Inside local       Outside local      Outside global
tcp 216.100.100.2:1024 10.0.0.12:1033     216.100.100.11:21  216.100.100.11:21
    create 00:00:49, use 00:00:42, left 23:59:17,
    flags:
extended, use_count: 0
tcp 216.100.100.2:1032 10.0.0.12:1032     216.100.100.11:21  216.100.100.11:21
    create 00:02:42, use 00:02:31, left 23:57:28,
    flags:
extended, use_count: 0
tcp 216.100.100.2:1033 10.0.0.11:1033     216.100.100.11:21  216.100.100.11:21
    create 00:02:18, use 00:02:13, left 23:57:46,
    flags:
extended, use_count: 0
```

11

Este processo é transparente para as estações. Portanto elas podiam ter usado o mesmo número de porta TCP. Vamos abrir mais uma ligação entre a estação B e o servidor de FTP. Desta vez a estação B vai usar o porto 1033, o mesmo que a estação A. O router colocou mais uma entrada na tabela de tradução. Esta entrada relaciona o endereço privado 10.0.0.12 e o porto 1033, com o endereço público 216.100.100.2 e o porto 1024. Ou seja, o router além de traduzir o endereço privado da estação B, traduz também a porta TCP. Pode ver-se que os pacotes são enviados pela estação B para a rede privada a partir do endereço 10.0.0.12 e da porta 1033, e são enviados para a rede pública pelo router como tendo origem no endereço 216.100.100.2 e na porta 1024. Quando a estação D responde, fá-lo para a porta 1024. O router recebe um pacote para a porta 1024 e sabe que o deve enviar para o endereço 10.0.0.12 para a porta 1033.

Example (IV)



Translation of IP address in FTP message (Layer 5):

```
ETHER-II: 00-60-97-9B-9E-07 ==> 00-D0-58-A9-3E-37
Internet Protocol
  Version(MSB 4 bits): 4
  Header length(LSB 4 bits): 5 (32-bit word)
  Service type: Precd=Routine,Delay=Normal,Thrput=Normal,Reli=Normal
  Total length: 61 (Octets)
  Fragment ID: 14595
  Flags: Do not fragment,Last fragment,Offset=0 (0x00)
  Time to live: 128 seconds/hops
  IP protocol type: TCP (0x06)
  Checksum: 0x7B3D
  IP address 10.0.0.11 ->216.100.100.11
  No option
TCP: 1036->File Transfer (Control),S=82367,A=171360,W=86
File Transfer Protocol
  PORT 10,0,0,11,4,13
Sliced Packet( Data Length = 75)
```

private network

```
ETHER-II: 00-D0-58-A9-3E-38 ==> 00-60-97-D4-9F-9A
Internet Protocol
  Version(MSB 4 bits): 4
  Header length(LSB 4 bits): 5 (32-bit word)
  Service type: Precd=Routine,Delay=Normal,Thrput=Normal,Reli=Normal
  Total length: 65 (Octets)
  Fragment ID: 14595
  Flags: Do not fragment,Last fragment,Offset=0 (0x00)
  Time to live: 127 seconds/hops
  IP protocol type: TCP (0x06)
  Checksum: 0x49DD
  IP address 216.100.100.2 ->216.100.100.11
  No option
TCP: 1036->File Transfer (Control),S=82367,A=171360,W=8610
File Transfer Protocol
  PORT 216,100,100,2,4,13
Sliced Packet( Data Length = 79)
```

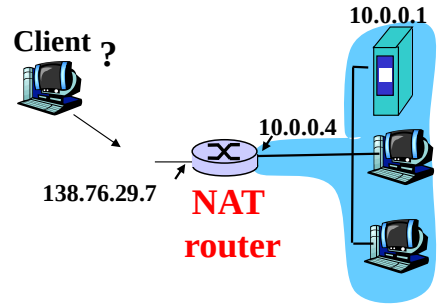
public network

12

Mostra-se um pacote do protocolo FTP capturado na rede pública e na rede privada. Quando o pacote circula na rede privada tem como endereço origem 10.0.0.11. Quando circula na rede pública o endereço destino é 216.100.100.2. O router traduziu o endereço do cliente quando enviou o pacote para a rede pública. Para além disso, o router traduziu os endereços IP transportados no interior dos pacotes FTP. Analisando o pacote FTP vemos que os primeiros quatro octetos são o endereço IP do cliente. Pode ver-se que quando o pacote está na rede privada o endereço do pacote FTP é o endereço privado, quando passou para a rede pública o endereço foi traduzido para o endereço público.

NAT traversal problem with a server in a private network

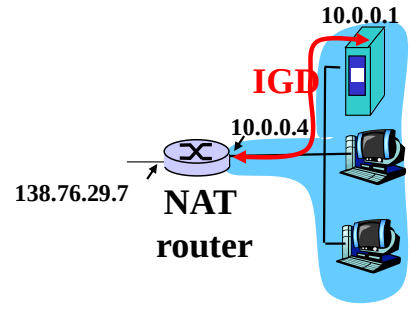
- client wants to connect to server with address 10.0.0.1
  - server address 10.0.0.1 local to LAN (client cannot use it as destination address)
  - only one externally visible NATted address: 138.76.29.7
- solution 1: statically configure NAT to forward incoming connection requests at given port to server
  - e.g., (138.76.29.7, port 2500) always forwarded to 10.0.0.1 port 25000



NAT traversal problem

- solution 2: Universal Plug and Play (UPnP) Internet Gateway Device (IGD) Protocol. Allows NATted host to:
  - Application running on NATted host requests mapping between (private IP address, private port number) and (public IP address, public port number)
  - Application can advertise (public IP address, public port number)

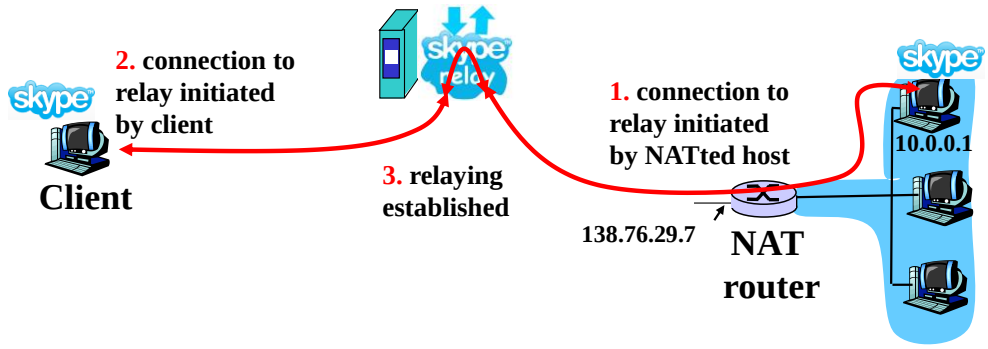
  i.e., automate static NAT port map configuration



14

NAT traversal problem

- solution 3: relaying (used in Skype)
  - NATed server establishes connection to Relay
  - External client connects to Relay
  - Relay bridges packets between two connections



15

DHCP

16

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

Goal: allow host to *dynamically* obtain its IP address from network server when it joins network

- Can renew its lease on address in use
- Allows reuse of addresses (only hold address while connected and "on")
- Support for mobile users who want to join network
- Also allows client to learn subnet mask, default gateway, local DNS server

DHCP overview:

- host broadcasts "DHCP discover" message
- DHCP server responds with "DHCP offer" message
- host requests IP address: "DHCP request" message
- DHCP server sends address: "DHCP ack" message

17

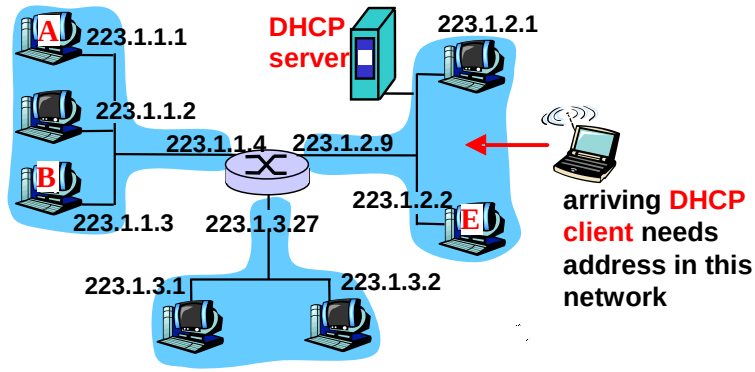
Configuration of a DHCP server

- Lease address range
  - Pool of IP addresses to be leased defined by the first and the last address
- Excluding address range
  - Pool of IP addresses inside the lease address range that are not to be leased
- Reserved addresses
  - IP addresses to be assigned statically for specific MACs
- Lease time
  - Time duration of the lease of an address

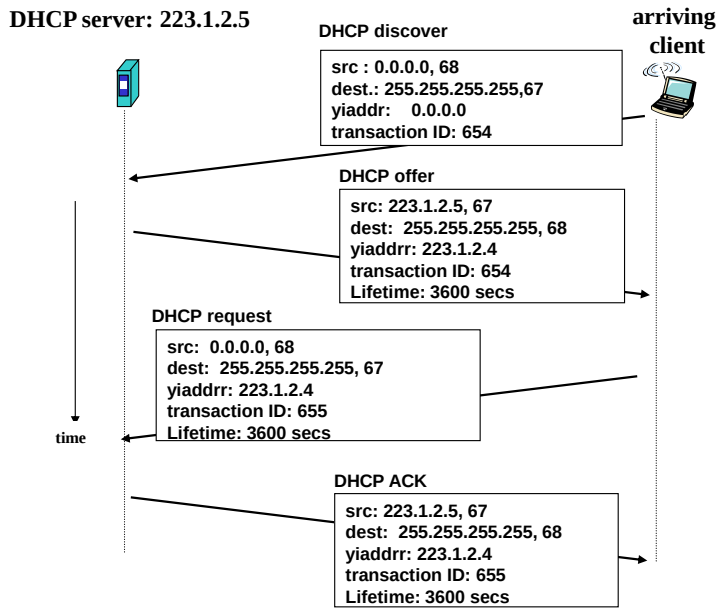
18

Demonstração da configuração de um servidor de DHCP

DHCP client-server scenario



DHCP client-server scenario



DHCP versus BOOTP

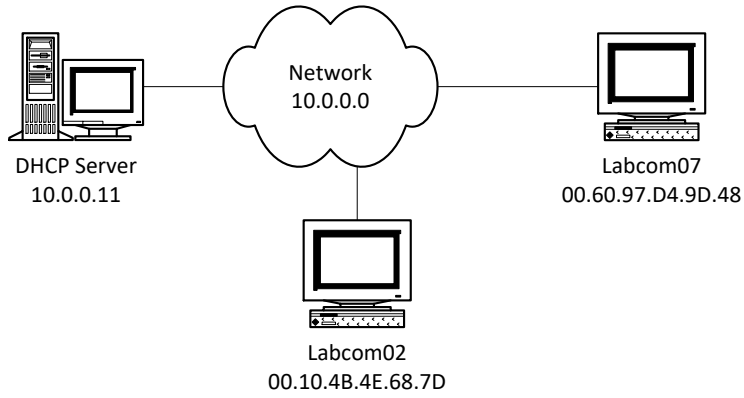
- Extension of *Bootstrap Protocol*, BOOTP, (RFC 1542)
  - Run over UDP
  - Server port number: 67
  - Client port number: 68
  - Originally, BOOTP enables a diskless terminal to find its IP address, a server address and a configuration filename to be requested to the server and locally executed.

21

O cliente DHCP não tem que saber nada sobre a rede quando arranca. Por isso, no primeiro pacote que envia para rede, não conhece nem o seu endereço IP, nem o endereço da rede onde está, nem o endereço IP do servidor DHCP.

A primeira mensagem DHCP enviada é do tipo DHCP Discover. É encapsulada num pacote do tipo pedido BootP. Como o nome indica esta mensagem serve para descobrir os servidores de DHCP que existem na rede. O cliente pode também indicar neste pacote qual o endereço IP que pretende alugar. As máquinas Windows NT 4.0 tentam alugar sempre o último endereço que usaram. Os servidores de DHCP que recebem o pedido respondem com uma mensagem do tipo DHCP Offer. Essa mensagem é encapsulada num pacote do tipo resposta BootP. O pacote BootP tem que ser enviado para o endereço de broadcast, uma vez que o cliente ainda não possui endereço IP. Nessa resposta cada servidor diz ao cliente que endereço IP lhe pode fornecer. Os servidores tentam sempre respeitar a preferência do cliente por um determinado endereço. O cliente recebe as respostas dos servidores. Se algum dos servidores lhe oferecer o endereço IP que pediu, escolhe-o. Senão escolhe qualquer um dos servidores (provavelmente o primeiro que responder). O cliente envia então um pacote do tipo DHCP Request ao servidor que ofereceu o endereço IP que ele escolheu. Nesse pacote o cliente pede ao servidor que lhe seja fornecido o endereço. Quando o servidor recebe o pedido reserva o endereço IP para o cliente e responde com um DHCP Acknowledge.

Example

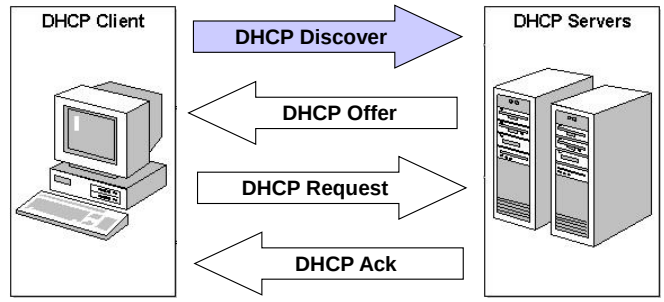


22

Nesta experiência montámos uma rede onde existe um servidor de DHCP e alguns clientes. Um desses clientes, a estação labcom07, está a arrancar quando a experiência começa. Com a estação labcom02 capturamos os pacotes trocados entre a estação labcom07 e o servidor DHCP.

DHCP Discover

***DHCP Discover* message is encapsulated on a *BootP Request* message. It is sent to discover available DHCP servers. The client can also indicate an IP address.**

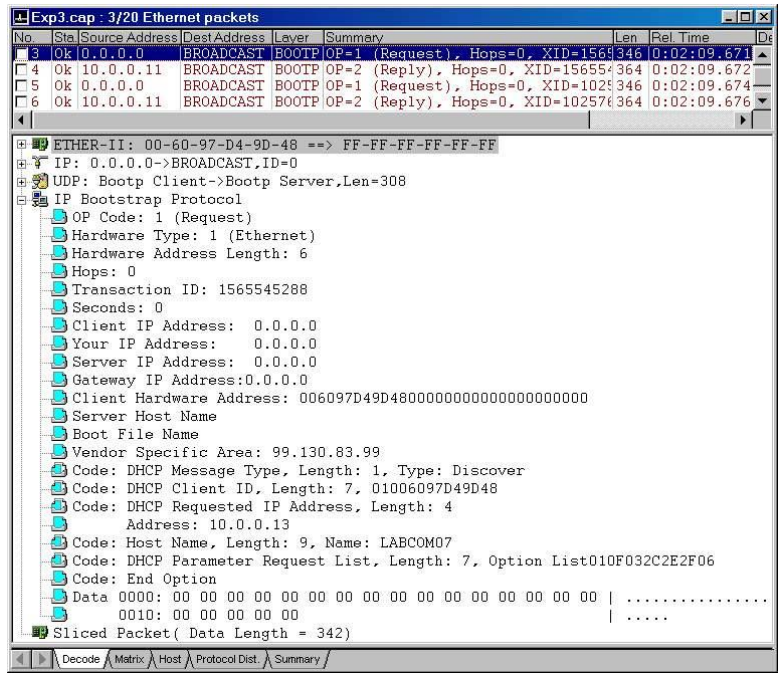


23

O cliente DHCP não tem que saber nada sobre a rede quando arranca. Por isso, no primeiro pacote que envia para rede, não conhece nem o seu endereço IP, nem o endereço da rede onde está, nem o endereço IP do servidor DHCP.

A primeira mensagem DHCP enviada é do tipo DHCP Discover. É encapsulada num pacote do tipo pedido BootP. Como o nome indica esta mensagem serve para descobrir os servidores de DHCP que existem na rede. O cliente pode também indicar neste pacote qual o endereço IP que pretende alugar. As máquinas Windows NT 4.0 tentam alugar sempre o último endereço que usaram. Os servidores de DHCP que recebem o pedido respondem com uma mensagem do tipo DHCP Offer. Essa mensagem é encapsulada num pacote do tipo resposta BootP. O pacote BootP tem que ser enviado para o endereço de broadcast, uma vez que o cliente ainda não possui endereço IP. Nessa resposta cada servidor diz ao cliente que endereço IP lhe pode fornecer. Os servidores tentam sempre respeitar a preferência do cliente por um determinado endereço. O cliente recebe as respostas dos servidores. Se algum dos servidores lhe oferecer o endereço IP que pediu, escolhe-o. Senão escolhe qualquer um dos servidores (provavelmente o primeiro que responder). O cliente envia então um pacote do tipo DHCP Request ao servidor que ofereceu o endereço IP que ele escolheu. Nesse pacote o cliente pede ao servidor que lhe seja fornecido o endereço. Quando o servidor recebe o pedido reserva o endereço IP para o cliente e responde com um DHCP Acknowledge.

DHCP Discover

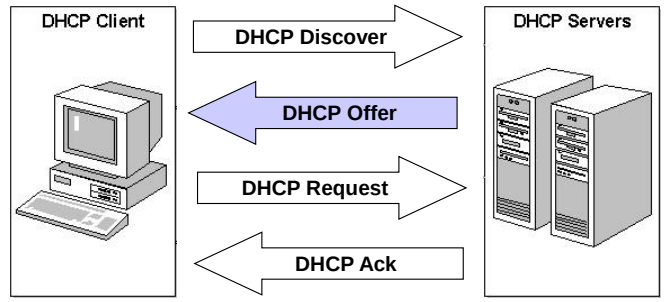


24

A primeira medida tomada pelo cliente é o envio de uma mensagem do tipo DHCP Discover. Essa mensagem não leva endereço IP de origem, porque cliente ainda não conhece o seu endereço IP. Essa mensagem é transportada por um pacote do tipo BootP request. Numa das células pode ver-se que o cliente pede o endereço IP 10.0.0.13, ele sabe qual foi o último endereço IP com que trabalhou, portanto tenta continuar com o mesmo. Este pacote BootP tem que ser enviado para o endereço de broadcast, porque a estação não conhece o endereço IP do servidor.

DHCP Offer

***DHCP Offer* message is encapsulated on a *BootP Reply* message. Each server offers one IP address to lease (if possible, servers offer the IP address indicated by the client).**

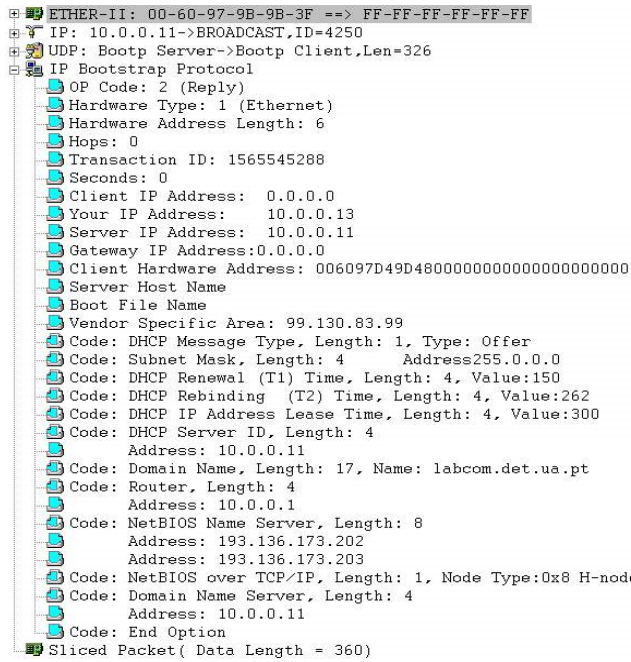


25

O cliente DHCP não tem que saber nada sobre a rede quando arranca. Por isso, no primeiro pacote que envia para rede, não conhece nem o seu endereço IP, nem o endereço da rede onde está, nem o endereço IP do servidor DHCP.

A primeira mensagem DHCP enviada é do tipo DHCP Discover. É encapsulada num pacote do tipo pedido BootP. Como o nome indica esta mensagem serve para descobrir os servidores de DHCP que existem na rede. O cliente pode também indicar neste pacote qual o endereço IP que pretende alugar. As máquinas Windows NT 4.0 tentam alugar sempre o último endereço que usaram. Os servidores de DHCP que recebem o pedido respondem com uma mensagem do tipo DHCP Offer. Essa mensagem é encapsulada num pacote do tipo resposta BootP. O pacote BootP tem que ser enviado para o endereço de broadcast, uma vez que o cliente ainda não possui endereço IP. Nessa resposta cada servidor diz ao cliente que endereço IP lhe pode fornecer. Os servidores tentam sempre respeitar a preferência do cliente por um determinado endereço. O cliente recebe as respostas dos servidores. Se algum dos servidores lhe oferecer o endereço IP que pediu, escolhe-o. Senão escolhe qualquer um dos servidores (provavelmente o primeiro que responder). O cliente envia então um pacote do tipo DHCP Request ao servidor que ofereceu o endereço IP que ele escolheu. Nesse pacote o cliente pede ao servidor que lhe seja fornecido o endereço. Quando o servidor recebe o pedido reserva o endereço IP para o cliente e responde com um DHCP Acknowledge.

DHCP Offer

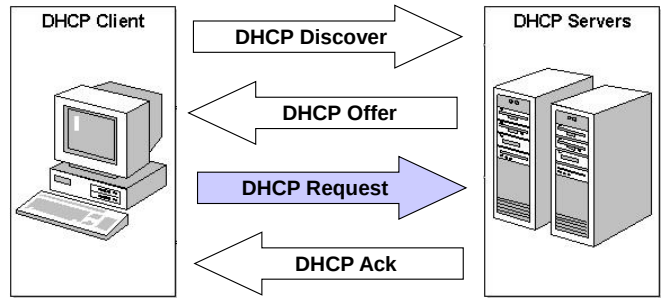


26

O único servidor que existe na rede recebe esta mensagem DHCP Discover e verifica que pode oferecer ao cliente o endereço IP que ele pretende. Envia então ao cliente uma mensagem DHCP Offer onde indica que lhe pode oferecer o endereço IP 10.0.0.13. Essa mensagem é transportada por um pacote BootP. Ainda não é agora que o endereço IP vai ficar alugado, mas mesmo assim este servidor envia toda a informação sobre a rede que está configurado para enviar.

DHCP Request

***DHCP Request* message is encapsulated on a *BootP Request* message. After selecting one of the offers, the client indicates the selected IP address.**

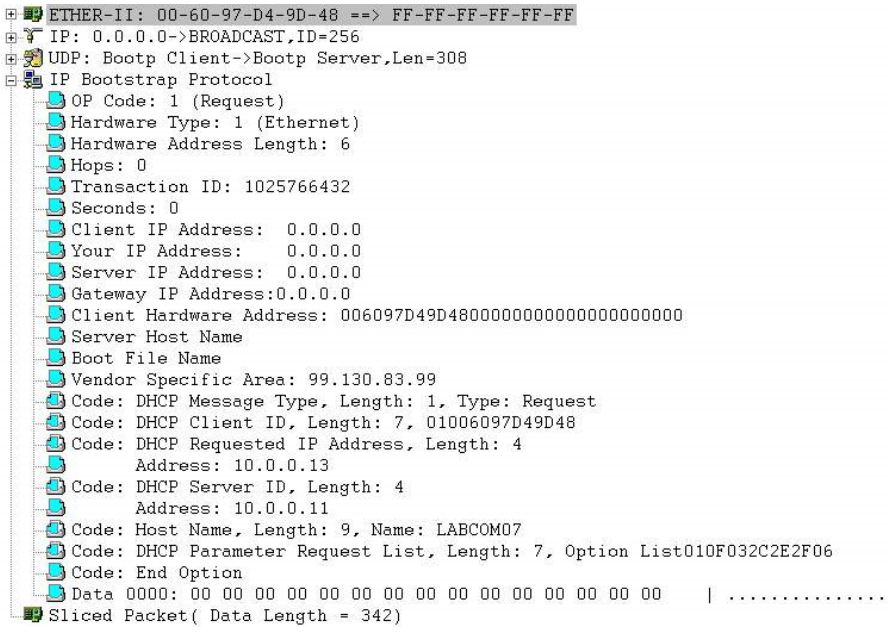


27

O cliente DHCP não tem que saber nada sobre a rede quando arranca. Por isso, no primeiro pacote que envia para rede, não conhece nem o seu endereço IP, nem o endereço da rede onde está, nem o endereço IP do servidor DHCP.

A primeira mensagem DHCP enviada é do tipo DHCP Discover. É encapsulada num pacote do tipo pedido BootP. Como o nome indica esta mensagem serve para descobrir os servidores de DHCP que existem na rede. O cliente pode também indicar neste pacote qual o endereço IP que pretende alugar. As máquinas Windows NT 4.0 tentam alugar sempre o último endereço que usaram. Os servidores de DHCP que recebem o pedido respondem com uma mensagem do tipo DHCP Offer. Essa mensagem é encapsulada num pacote do tipo resposta BootP. O pacote BootP tem que ser enviado para o endereço de broadcast, uma vez que o cliente ainda não possui endereço IP. Nessa resposta cada servidor diz ao cliente que endereço IP lhe pode fornecer. Os servidores tentam sempre respeitar a preferência do cliente por um determinado endereço. O cliente recebe as respostas dos servidores. Se algum dos servidores lhe oferecer o endereço IP que pediu, escolhe-o. Senão escolhe qualquer um dos servidores (provavelmente o primeiro que responder). O cliente envia então um pacote do tipo DHCP Request ao servidor que ofereceu o endereço IP que ele escolheu. Nesse pacote o cliente pede ao servidor que lhe seja fornecido o endereço. Quando o servidor recebe o pedido reserva o endereço IP para o cliente e responde com um DHCP Acknowledge.

DHCP Request

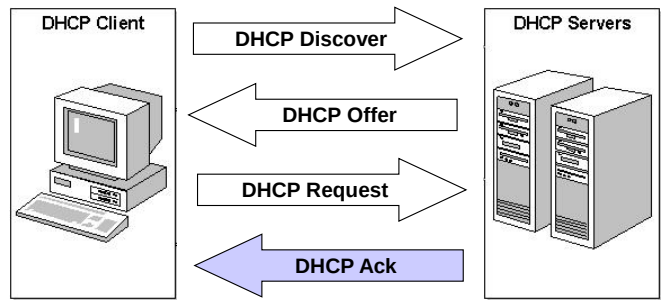


28

Quando o cliente recebe a oferta do servidor resolve aceitá-la. Envia então uma mensagem do tipo DHCP Request, para tentar alugar o endereço. Nesta rede só existe um servidor de DHCP, mas podiam existir mais. Se fosse o caso cada um teria feito a sua proposta. Por isso, na mensagem DHCP Request, além do endereço que está a pedir, o cliente indica também qual o servidor que deve atender ao pedido. Mesmo conhecendo já o endereço IP do servidor, este pacote tem que ser enviado para o endereço de Broadcast. Podem ter sido vários os servidores de DHCP a responder ao cliente com ofertas. Esses servidores devem ser informados de que a sua oferta foi rejeitada. Enviando a mensagem DHCP Request todos os servidores ficam a saber qual a oferta que foi aceite. Assim , os servidores cuja oferta não foi aceite, podem libertar o endereço que ofereceram para outro cliente.

DHCP Ack

***DHCP Ack* message is encapsulated in a *BootP Reply* message. The server acknowledges positively the lease of the IP address indicating also other information of interest.**

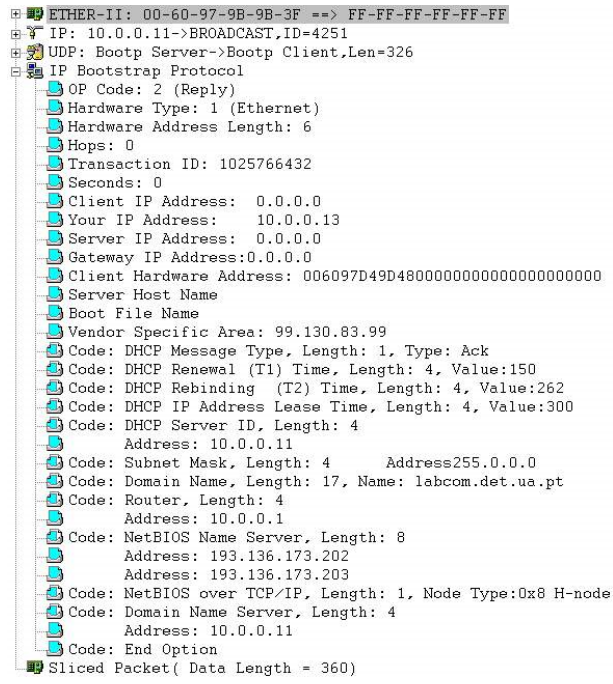


29

O cliente DHCP não tem que saber nada sobre a rede quando arranca. Por isso, no primeiro pacote que envia para rede, não conhece nem o seu endereço IP, nem o endereço da rede onde está, nem o endereço IP do servidor DHCP.

A primeira mensagem DHCP enviada é do tipo DHCP Discover. É encapsulada num pacote do tipo pedido BootP. Como o nome indica esta mensagem serve para descobrir os servidores de DHCP que existem na rede. O cliente pode também indicar neste pacote qual o endereço IP que pretende alugar. As máquinas Windows NT 4.0 tentam alugar sempre o último endereço que usaram. Os servidores de DHCP que recebem o pedido respondem com uma mensagem do tipo DHCP Offer. Essa mensagem é encapsulada num pacote do tipo resposta BootP. O pacote BootP tem que ser enviado para o endereço de broadcast, uma vez que o cliente ainda não possui endereço IP. Nessa resposta cada servidor diz ao cliente que endereço IP lhe pode fornecer. Os servidores tentam sempre respeitar a preferência do cliente por um determinado endereço. O cliente recebe as respostas dos servidores. Se algum dos servidores lhe oferecer o endereço IP que pediu, escolhe-o. Senão escolhe qualquer um dos servidores (provavelmente o primeiro que responder). O cliente envia então um pacote do tipo DHCP Request ao servidor que ofereceu o endereço IP que ele escolheu. Nesse pacote o cliente pede ao servidor que lhe seja fornecido o endereço. Quando o servidor recebe o pedido reserva o endereço IP para o cliente e responde com um DHCP Acknowledge.

DHCP Ack



O servidor recebeu o pedido do endereço 10.0.0.13 do cliente e responde com uma mensagem DHCP Acknowledge. Ficou então alugado o endereço 10.0.0.13 ao cliente. No pacote BootP que transporta a mensagem DHCP Acknowledge vão também indicados todos os parâmetros de configuração cedidos pelo servidor. São eles a máscara da rede, o endereço do router que deve servir de default gateway, o endereço IP do servidor de DNS, o nome do domínio DNS e os endereços IP dos servidores de WINS.

Existem na mensagem DHCP Acknowledge algumas células DHCP muito importantes. São elas o tempo de lease, o tempo de renovação T1 e o tempo de renovação T2. O tempo de lease indica o período de tempo que o cliente pode usar o endereço IP. Os campos instante de renovação T1 e instante de renovação T2 indicam ao cliente quando é que ele deve tentar renovar o endereço, se estiver interessado. Esses instantes indicam o que vem estabelecido na norma. O instante T1 é 50% do tempo de lease e o instante T2 é 87.5% do tempo de lease.

Address leasing

- *Renewal Time (50% of Lease Time)*
  - at this time, the client should try to renew the lease in the server that has assigned its IP address
- *Rebinding Time (85% of Lease Time)*
  - at this time, the client should try to renew the lease of its IP address (if it didn't succeed before) in any available server
- *Lease Time*
  - if the lease could not be renewed, at this time, the client stop using the IP address

31

O cliente DHCP não tem que saber nada sobre a rede quando arranca. Por isso, no primeiro pacote que envia para rede, não conhece nem o seu endereço IP, nem o endereço da rede onde está, nem o endereço IP do servidor DHCP.

A primeira mensagem DHCP enviada é do tipo DHCP Discover. É encapsulada num pacote do tipo pedido BootP. Como o nome indica esta mensagem serve para descobrir os servidores de DHCP que existem na rede. O cliente pode também indicar neste pacote qual o endereço IP que pretende alugar. As máquinas Windows NT 4.0 tentam alugar sempre o último endereço que usaram. Os servidores de DHCP que recebem o pedido respondem com uma mensagem do tipo DHCP Offer. Essa mensagem é encapsulada num pacote do tipo resposta BootP. O pacote BootP tem que ser enviado para o endereço de broadcast, uma vez que o cliente ainda não possui endereço IP. Nessa resposta cada servidor diz ao cliente que endereço IP lhe pode fornecer. Os servidores tentam sempre respeitar a preferência do cliente por um determinado endereço. O cliente recebe as respostas dos servidores. Se algum dos servidores lhe oferecer o endereço IP que pediu, escolhe-o. Senão escolhe qualquer um dos servidores (provavelmente o primeiro que responder). O cliente envia então um pacote do tipo DHCP Request ao servidor que ofereceu o endereço IP que ele escolheu. Nesse pacote o cliente pede ao servidor que lhe seja fornecido o endereço. Quando o servidor recebe o pedido reserva o endereço IP para o cliente e responde com um DHCP Acknowledge.

Other DHCP messages

- *DHCP Decline*:
  - The client rejects the offer of a server and restarts the acquisition of an IP address
- *DHCP Nack*:
  - The server informs that it cannot renew the lease of an IP address
- *DHCP Release*:
  - The client informs the server that it is no longer interested on an IP address
- *DHCP Inform*:
  - The client requests additional information (in this case, the client has an IP address but requires, for example, the DNS server address)

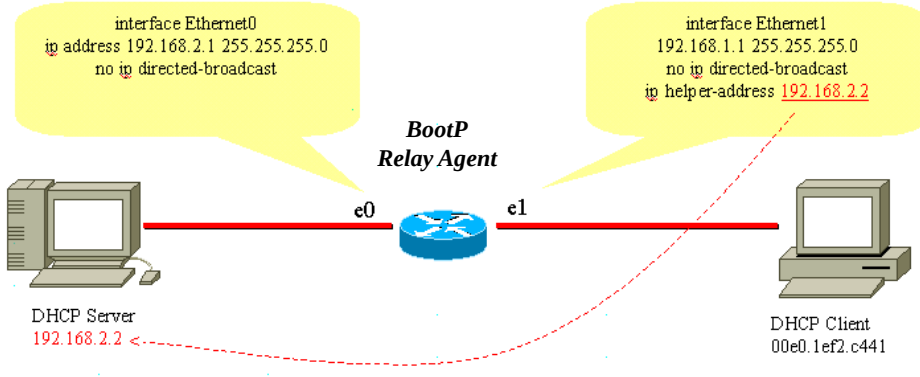
32

O cliente DHCP não tem que saber nada sobre a rede quando arranca. Por isso, no primeiro pacote que envia para rede, não conhece nem o seu endereço IP, nem o endereço da rede onde está, nem o endereço IP do servidor DHCP.

A primeira mensagem DHCP enviada é do tipo DHCP Discover. É encapsulada num pacote do tipo pedido BootP. Como o nome indica esta mensagem serve para descobrir os servidores de DHCP que existem na rede. O cliente pode também indicar neste pacote qual o endereço IP que pretende alugar. As máquinas Windows NT 4.0 tentam alugar sempre o último endereço que usaram. Os servidores de DHCP que recebem o pedido respondem com uma mensagem do tipo DHCP Offer. Essa mensagem é encapsulada num pacote do tipo resposta BootP. O pacote BootP tem que ser enviado para o endereço de broadcast, uma vez que o cliente ainda não possui endereço IP. Nessa resposta cada servidor diz ao cliente que endereço IP lhe pode fornecer. Os servidores tentam sempre respeitar a preferência do cliente por um determinado endereço. O cliente recebe as respostas dos servidores. Se algum dos servidores lhe oferecer o endereço IP que pediu, escolhe-o. Senão escolhe qualquer um dos servidores (provavelmente o primeiro que responder). O cliente envia então um pacote do tipo DHCP Request ao servidor que ofereceu o endereço IP que ele escolheu. Nesse pacote o cliente pede ao servidor que lhe seja fornecido o endereço. Quando o servidor recebe o pedido reserva o endereço IP para o cliente e responde com um DHCP Acknowledge.

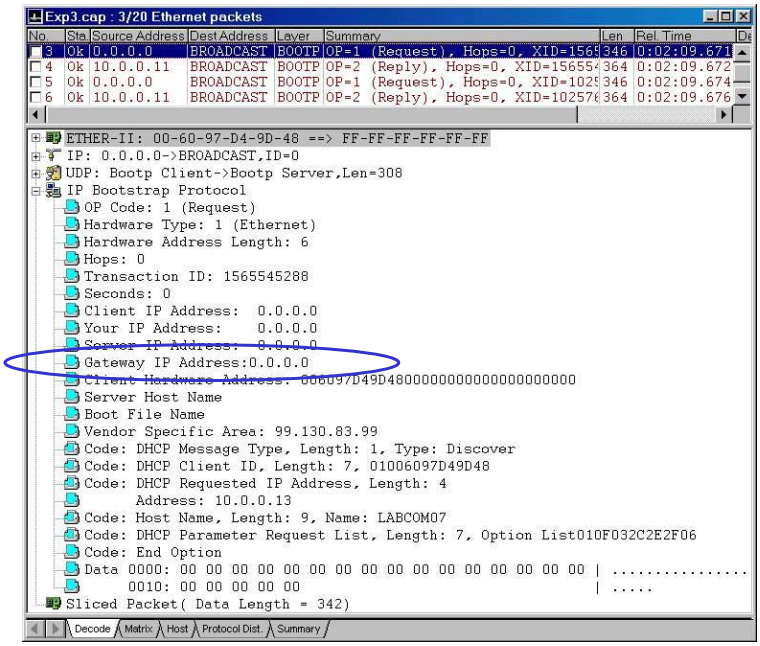
Client and server in different subnets

- It is necessary to make routers behave as *BootP Relay Agents*
- *Routers* reroute *BootP Request* messages to the IP address of the DHCP server inserting the IP address of the receiver interface in the *Gateway IP address* field of the DHCP messages
- DHCP server sends *BootP Reply* messages to the *Gateway IP address*



33

Gateway IP address field



34

A primeira medida tomada pelo cliente é o envio de uma mensagem do tipo DHCP Discover. Essa mensagem não leva endereço IP de origem, porque cliente ainda não conhece o seu endereço IP. Essa mensagem é transportada por um pacote do tipo BootP request. Numa das células pode ver-se que o cliente pede o endereço IP 10.0.0.13, ele sabe qual foi o último endereço IP com que trabalhou, portanto tenta continuar com o mesmo. Este pacote BootP tem que ser enviado para o endereço de broadcast, porque a estação não conhece o endereço IP do servidor.

Bibliography to study

- J. Kurose, K. Ross, "Computer Networking: A Top-Down Approach", Addison-Wesley, 4th Edition
  - Section 4.4.2 "IPv4 Addressing"

IPv6

IPv6 Features

- Larger address space enabling:
  - Global reachability, flexibility, aggregation, multihoming, autoconfiguration, “plug and play” and renumbering
- Simpler header enabling:
- Routing efficiency, performance and forwarding rate scalability
- Improved option support

37

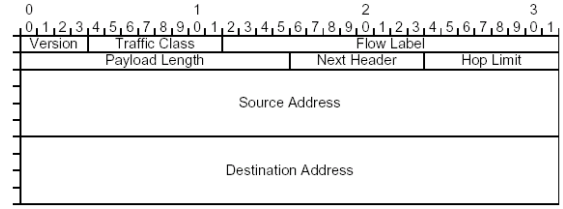
IPv6 Addressing

- IPv4: 4bytes/32 bits
  - ~ 4,294,967,296 possible addresses
- IPv6: 16bytes/128 bits
  - 340,282,366,920,938,463,463,374,607,431,768,211,456 possible addresses
- Representation
  - 16-bit hexadecimal numbers
  - Hex numbers are not case sensitive
  - Numbers are separated by (:)
  - Abbreviations are possible
    - Leading zeros in contiguous block could be represented by (::)
    - Example:
    - 2001:0db8:0000:130F:0000:0000:087C:140B = 2001:0db8:0:130F::87C:140B
    - Double colon only appears once in the address
  - Address's prefix is represented as: prefix/mask_number_of_bits

38

Header

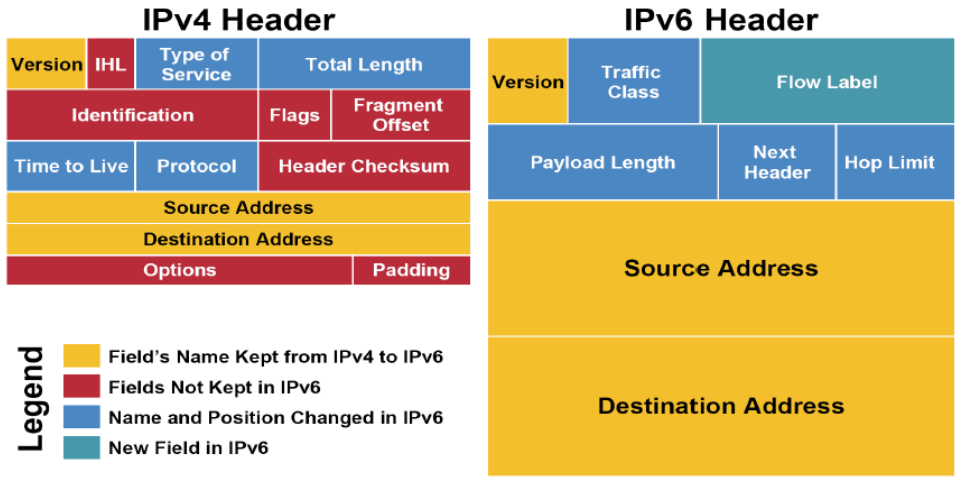
- Fixed-length 40 byte header
- Checksum removed
- No options in base header



- New flow label field (use is currently not defined, actually several uses exist for each purpose)
- Faster packet processing (with hardware support)
- Options in flexible and extensible extension headers (can be transparent for transit nodes)

39

IPv6 Header compared to IPv4 Header



40

Extension Headers

- Hop-by-hop (various, e.g. discard packet w/o ICMP)
- Routing (address list → source routing)
- Fragment (fragmentation only done by source)
- Destination options (various , e.g. discard packet w/o ICMP)
- Authentication (integrity and data origin auth.)
- Encapsulating security payload (confidentiality)

41

IPv6 address format

2001:0DA8:E800:0000:0260:3EFF:FE47:0001

- 8 groups of 4 hexadecimal digits
  - Each group represents 16 bits
  - Separator is ":"
  - Case-independent
- Addresses in IPv6 very complex
  - Auto configured
  - Local addresses

42

IPv6 Addressing

Type	Binary	Hexadecimal
Global Unicast Address	0010	2
Link-Local Unicast Address	1111 1110 10	FE80::/10
Unique-Local Unicast Address	1111 1100 1111 1101	FC00::/8 FD00::/8
Multicast Address	1111 1111	FF00::/16

43

Examples

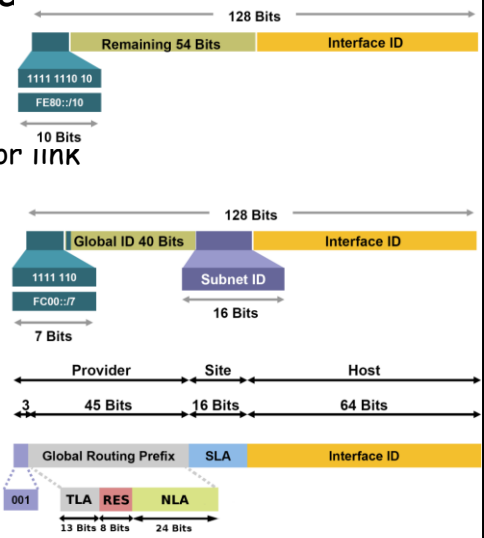
- 2200:A:A::1/64
- 2001:db8:a0b:12f0::1/64
- 2731:54:65fe:2::a7/64
- fe80::19b3:fddb:75f9:740/64

- My PC
  - IPv6 address: 2001:0:9d38:90d7:30a6:16a4:3f57:e09e
  - Link local IPv6 address:fe80::30a6:16a4:3f57:e09e

44

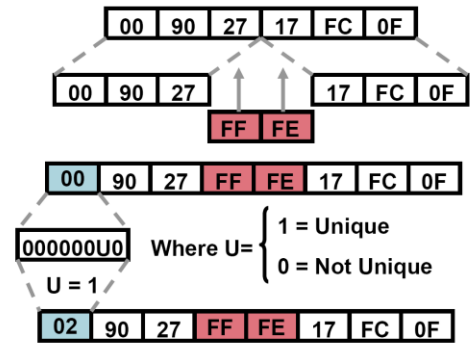
IPv6 Adressing Scheme

- Interface have multiple addresses
- Addresses have scope:
  - Link Local
    - Valid within the same LAN or link
  - Unique Local
    - Valid within the same private domain
    - Can not be used in Internet
  - Global
- Addresses have lifetime
  - Valid and preferred lifetime



IPv6 Interface Identifier

- Lowest-Order 64-Bit field of any address:
  - Auto-configured from a 64-bit EUI-64, or expanded from a 48-bit MAC address (e.g. Ethernet address)
  - Auto-generated pseudo-random number
  - Assigned via DHCP
  - Manually configured



Auto-configuration

- Important concept in the IPv6 birth
  - Terminal needs to automatically obtain its configuration information;
  - Network configuration elements can be changed and automatically propagated to all terminals.
- Auto-configuration methods
  - Stateless: configuration determined by the network;
  - Stateful: configuration determined by the network management.
- Process:
  - Link-local is created;
  - Verify the uniqueness of the link-local address (DAD-duplicate address detection)
  - Selection of the configuration method;
  - Determine the information to be auto-configured (addresses, gateways, …)

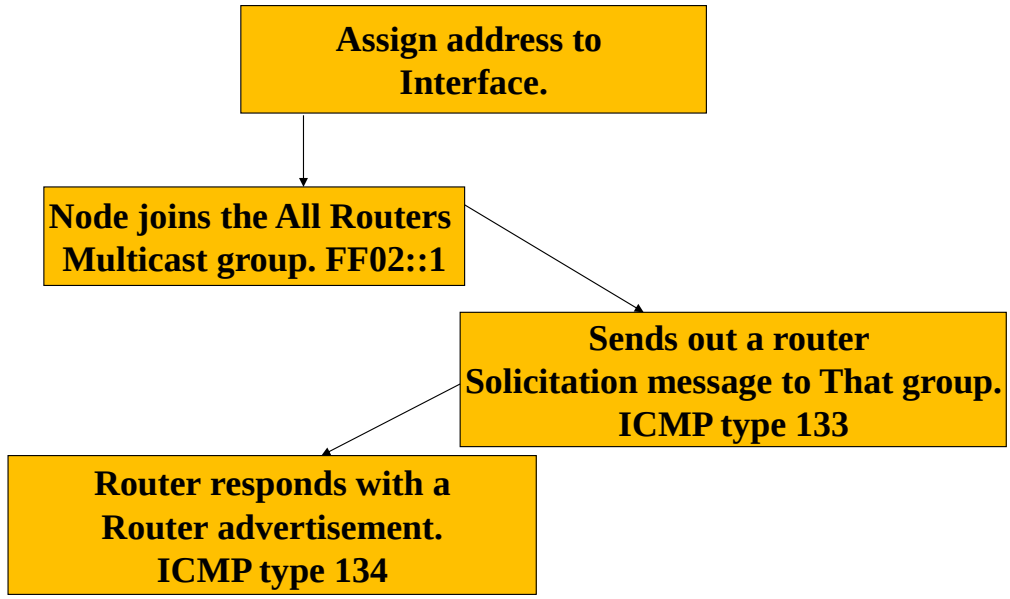
47

Stateless auto-configuration

- Terminal generates its own address. It combines
  - Local information (e.g. MAC address);
  - Information is advertised by routers (prefix defines the local sub-network).
- Advantages:
  - No manual configuration of the terminals;
  - Minimal configuration in the routers;
  - No additional servers.
- If there are no routers, terminal creates its link-local address
  - This address is sufficient to allow a communication in the same local network segment.

48

Stateless auto-configuration



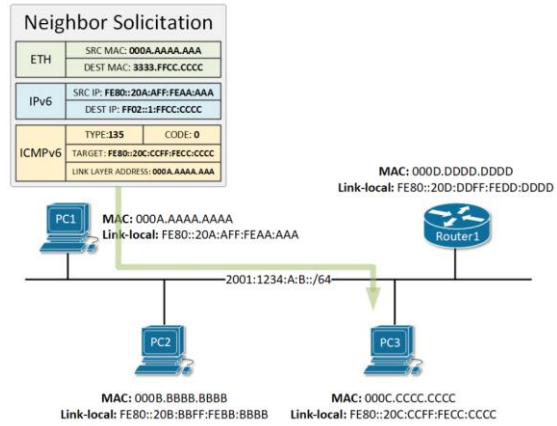
49

IPv6 Neighbor Discovery Protocol

- There is no Address Resolution Protocol (ARP) in IPv6
- IPv6-to-MAC resolution
  - IPv6 Neighbor Discovery Protocol
  - Multicast messages instead of broadcast like in IPv4.
- IPv6 Neighbor Discovery Protocol defines 5 types of messages that use ICMPv6 encapsulation:
  - Router Solicitation (ICMPv6 type 133)
  - Router Advertisement (ICMPv6 type 134)
  - Neighbor Solicitation (ICMPv6 type 135)
  - Neighbor Advertisement (ICMPv6 type 136)
  - Redirect Message (ICMPv6 type 137)

IPv6 Neighbor Solicitation

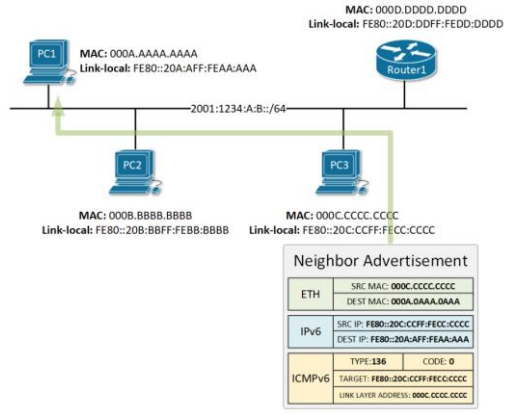
- There is no Address Resolution Protocol (ARP) in IPv6
- This message is the IPv6 alternative to the ARP Request.
- PC1 wants to resolve the physical address of PC3 - FE80::20C:CFF:FECC:CCCC. PC1 needs to send a Neighbour Solicitation message for this IPv6 address so it creates a new ICMPv6 packet type 135.
- In the target field of the ICMPv6, PC1 puts the IPv6 address that it wants to find the MAC of.



4-51

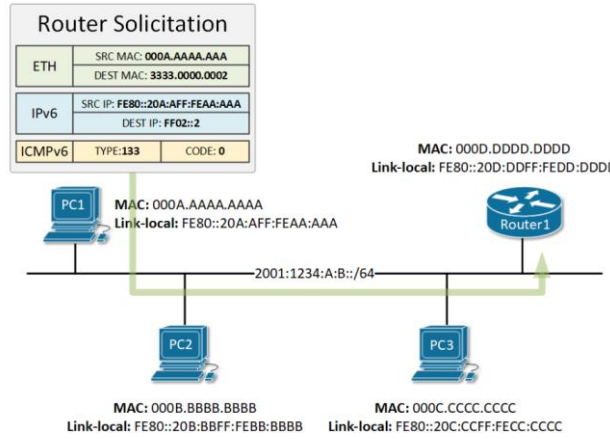
IPv6 Neighbor Advertisement

- When PC3 gets the Neighbor Solicitation message from PC1, it will look at the Target field in the ICMPv6 header, and will compare it against its own configured IPv6 addresses.
- The target address matches PC3's link-local address, so PC3 will reply back to PC1 with a message called Neighbor Advertisement.
- This message is the IPv6 alternative to the ARP Reply in IPv4 (unicast message).



IPv6 Router Solicitation

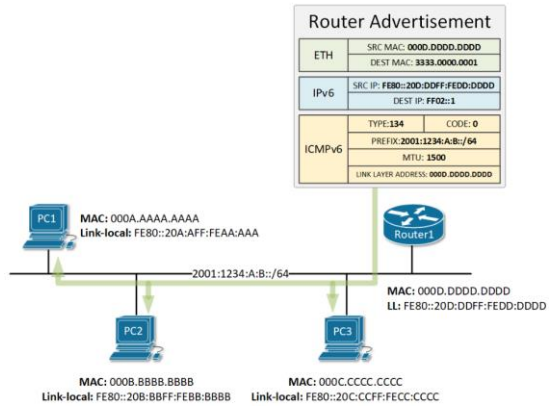
- When a node is connected to a local segment, it sends out a message called Neighbor Solicitation that requests that routers generate Router Advertisements (RA) immediately rather than at their next scheduled time.
- The Router Solicitation message is destined to the *all-routers* multicast address, which means that only the routers on the local segment will process these messages.



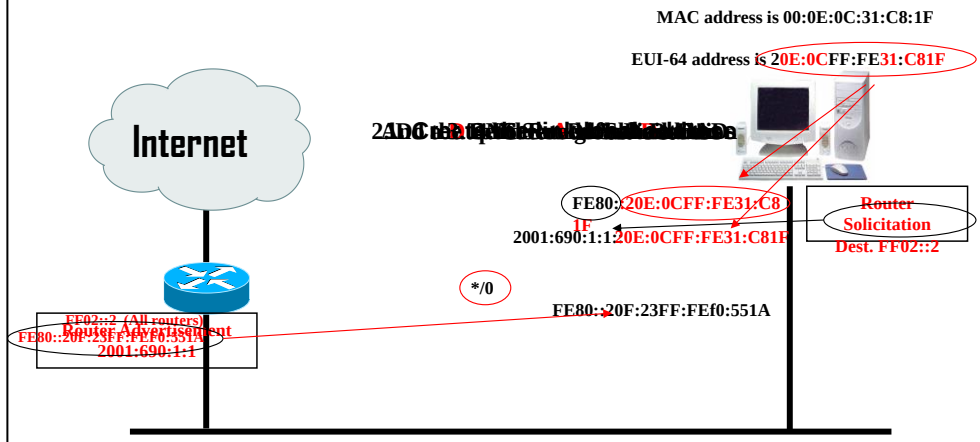
4-53

IPv6 Router Advertisement

- IPv6 routers attached to a local segment advertise their presence periodically via an ICMPv6 message called Router Advertisement (RA).
- The message is destined to the all-nodes multicast address FF02::1, which means that every node on the segment receives and processes it.
- RA messages contain the network prefix and the prefix length used on this segment as well as other parameters such as MTU.



Stateless auto-configuration



4-55

Statefull auto-configuration

- Configuration based on a client-server model
  - Use the Dynamic Host Control Protocol (DHCPv6).
- DHCPv6 allows:
  - Allocation of IPv6 addresses to the terminals;
  - Delivery of specific configuration information of each terminal.
- Guarantees larger configuration control (no DADs required);
- Supports IPv6 concepts of automatic configuration
  - E.g. automatic change of addresses.

56