Redes e Comunicacións

Tema 4: Capa de rede

Oscar García Lorenzo

Escola Politécnica Superior de Enxeñería

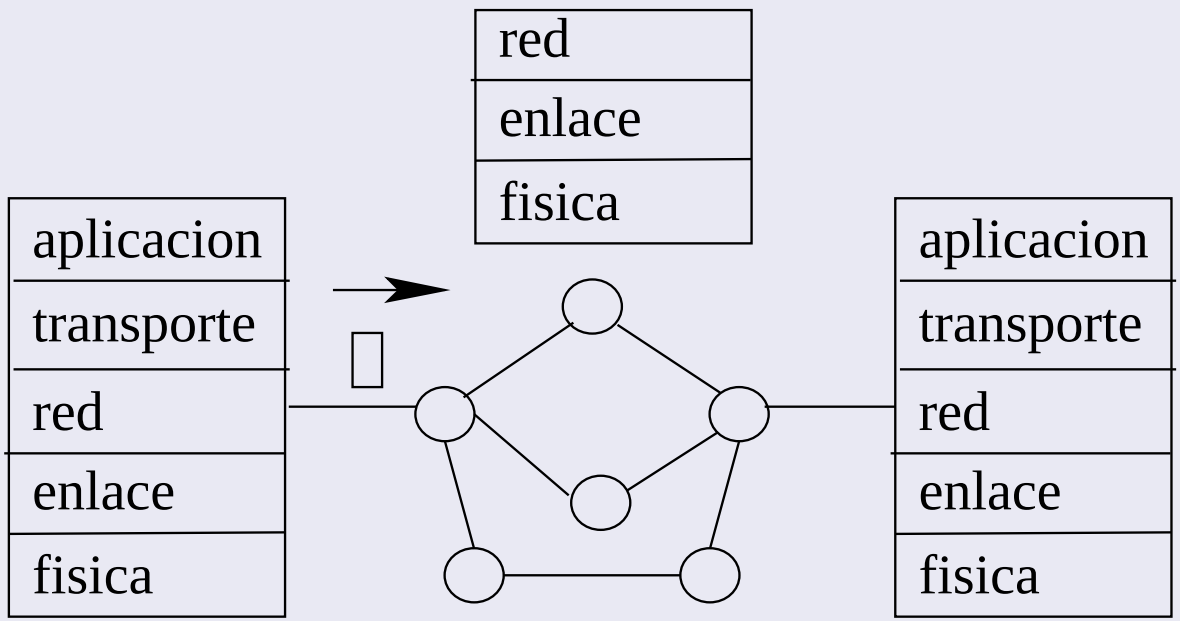
Índice

Índice

Introducción

Capa de rede

- Encargase de levar os paquetes que lle pasa a capa de transporte do host orixe ao host destino
- Implementada tanto nos sistemas finais coma nos routers



Introducción

Conceptos

- Reenvío (*forwarding*)
  - Cando chega un paquete a un router, o router fai pasar o paquete á interface de saída apropiada
- Encamiñamento ou rutado (*routing*)
  - Determinar a ruta que debe seguir un paquete que se envía desde un emisor a un receptor
  - Algoritmos de encamiñamento
- Táboas de reenvío
  - Táboas que almacenan a información necesaria para o reenvío de paquetes
    - Asigna o valor do campo da cabeceira á interface de saída apropiada
    - Os algoritmos de encamiñamento determinan os valores das táboas de reenvío

Índice

Redes de conmutación de paquetes

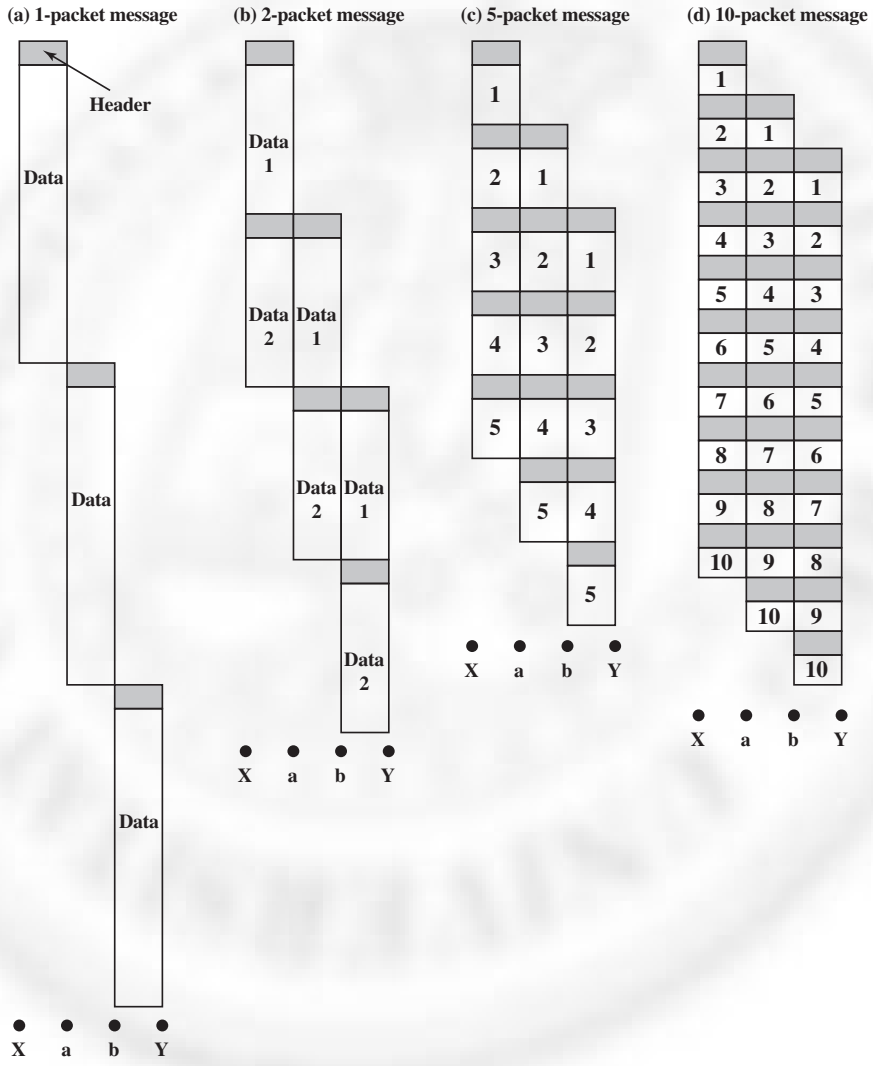


Figure 10.2 Effect of Packet Size on Transmission Time

Redes de conmutación de paquetes

Redes de datagramas

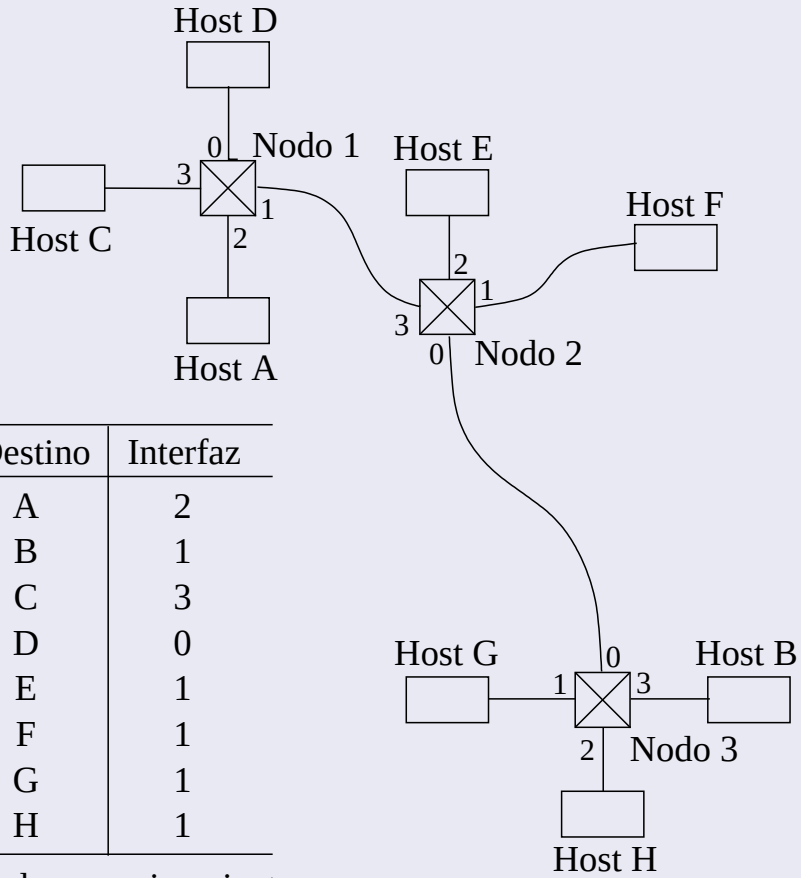
- Cada paquete inclúe na cabeceira a IP destino
- Reenvío: o router examina a cabeceira e o coloca na saída máis apropiada (táboa de reenvío)
- Non manteñen información de estado: unha secuencia de paquetes encamíñanse de forma independente

Redes de circuitos virtuais

- Establecese a conexión planificando unha ruta ao destino: un circuito virtual (CV)
- A cada paquete escríbeselle o identificador de CV: os routers o usan para o reenvío
- Os routers manteñen información de estado (táboa de circuitos virtuales)

Redes de datagramas

Exemplo



Destino	Interfaz
A	2
B	1
C	3
D	0
E	1
F	1
G	1
H	1

Tabla de encaminamiento del nodo 1

Destino	Interfaz
A	3
B	0
C	3
D	3
E	2
F	1
G	0
H	0

Tabla de encaminamiento del nodo 2

Destino	Interfaz
A	0
B	3
C	0
D	0
E	0
F	0
G	1
H	2

Tabla de encaminamiento del nodo 3

Introducción

Capa de rede en Internet: IP

- Tipo datagrama: encamiñanse os paquetes en función da dirección destino que conteñen
- Sen estado: cada paquete tratase de forma independente
- Rede non fiábel: servizo de mellor esforzo.
  - Non se garante a entrega de paquetes (nin a orde)
  - Nin a entrega nun tempo determinado
  - Entrega o maior número de paquetes, aínda que algúns se perdan
- Permite a interconexión de redes de diferentes tecnoloxías (interrede)

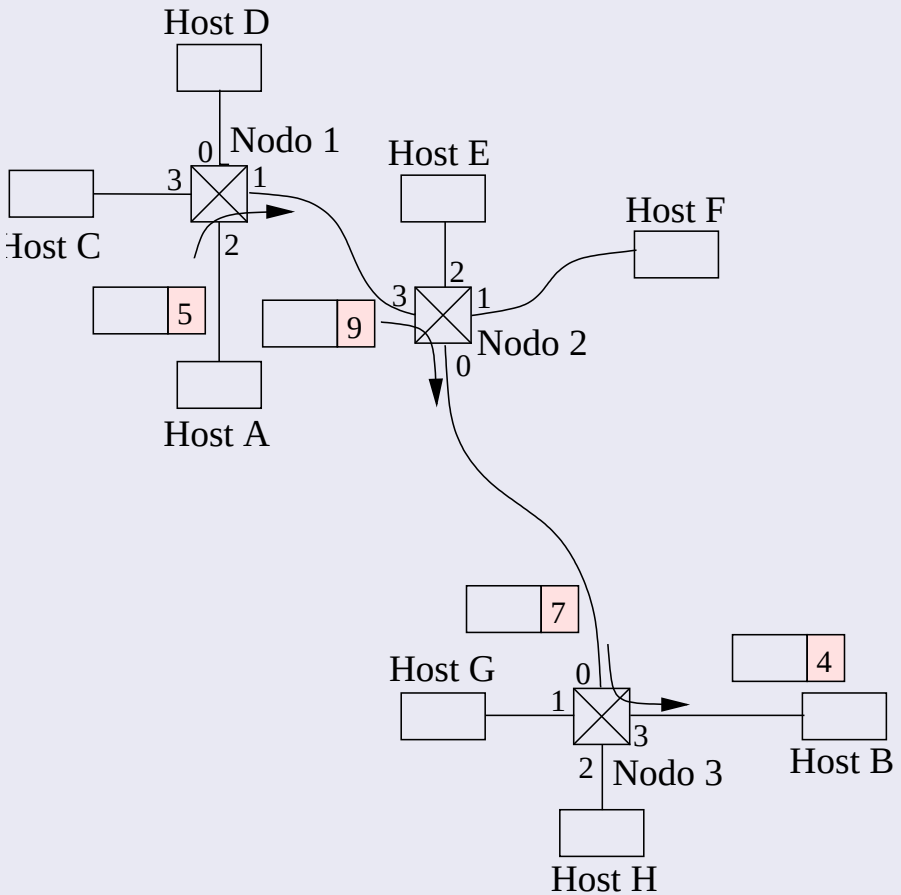
Redes de circuitos virtuais

Táboa de circuitos virtuais

- Cada nodo mantén unha táboa de encamiñamento coa seguinte información:
  - Interface de entrada do circuito virtual
  - Identificador do circuito virtual **VCI**
  - Interface de saída pola que os paquetes dese circuito virtual deixan o nodo
  - Identificador de saída do circuito virtual
- Un paquete que chega por unha interface cun VCI, colocase na interface indicada na táboa co novo VCI

Redes de circuitos virtuais

Exemplo



Nodo 1			
Entrada		Salida	
Interfaz	VCI	Interfaz	VCI
2	5	1	9
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

Nodo 2			
Entrada		Salida	
Interfaz	VCI	Interfaz	VCI
3	9	0	7
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

Nodo 3			
Entrada		Salida	
Interfaz	VCI	Interfaz	VCI
0	7	3	4
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

Redes de circuitos virtuais

Construcción da táboa de VC

- A envía unha *Petición de chamada* dirixida a B
- Esta chega ao nodo 1 pola interface 2, que debe saber como reenviala para que chegue a B (similar a datagramas)
- O nodo 1 decide marcar esta petición cun VCI de 5 (aleatorio), e a envía pola interface 1
- 2 o recibe, o marca con VCI 9 e o coloca na interface 0; 3 o marca con VCI 7 e o coloca en 3; e B o marca con VCI 4, que identificará os paquetes de A
- B devolve unha *Chamada aceptada* con VCI 4 ao nodo 3 pola interface 3
- O nodo 3 pode completar a sua entrada na táboa (VCI saída = 4); o mesmo os nodos 2 e 1
- 1 manda o ACK a A que o recibe con VCI 5
  - $\Rightarrow$ A marca o resto de paquetes a B con VCI 5

Índice

Algoritmos de encamiñamento

Conceptos

- Algoritmo de encamiñamento ou rutado: o encargado de atopar o camiño mínimo entre a orixe e o destino
  - Cada host está conectado a un router (*router por defecto*)
  - O problema limítase a atopar o camiño mínimo entre routers
- Equivalente a atopar o camiño mínimo nun grafo
  - Routers: nodos do grafo
  - Enlaces: aristas do grafo
    - Asignaselles un peso (custo)
    - Custo: distancia, velocidade, carga do enlace, custo económico, etc.

Algoritmos de encamiñamento

Clasificación

- Globais. De estado dos enlaces
  - Cada nodo dispón de toda a información sobre a rede: todos os nodos e o custo de todos os enlaces
  - A partir desta información, cada nodo pode calcular a súa táboa de encamiñamento (ou de rutas)
- Descentralizados. De vector de distancias
  - O cálculo dos camiños mínimos faise en colaboración de todos os nodos
  - Os nodos intercambian información so cos seus veciños
  - So coñecen a distancia aos demáis nodos e por onde empezar

Algoritmos de encamiñamento

Clasificación

- Estáticos ou dinámicos
  - Estáticos: so cambian cando cambia a topoloxía de rede ou modificanse manualmente parámetros
  - Dinámicos: execútanse periódicamente de forma automática. Os usados actualmente en Internet
- Sensíbeis ou insensíbeis á carga
  - Sensíbeis: o custo dos enlaces varía dinámicamente
    - Poden provocar que as mensaxes queden atrapadas nun ciclo
  - En Internet son insensíbeis á carga

Encamiñamento de estado dos enlaces

Algoritmo de Dijkstra (1959)

- Procura o camiño máis curto entre dous vértices dun grafo pesado
- Variante do algoritmo, *forward search*:
  - O nodo `N` quere calcular a súa táboa de routing a partires dos LSP (*link state packet*) que recibiu
  - Cada nodo ten 2 listas: `Confirmado` e `Provisional`
  - Cada elemento das listas indica o custo para alcanzar un nodo e o seguinte salto
    - `(M,5,L)`, indica que de `N` alcanzase `M` a custo 5 a través de L
  - Inicializa a táboa `Confirmado` cunha entrada para `N` con custo 0 (`(N,0,-)`)
  - Segue o seguinte algoritmo:

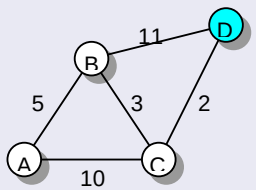
Encamiñamento de estado dos enlaces

Algoritmo de Dijkstra

1. Para o último nodo engadido a `Confirmado` (nodo `S`) examina o seu LSP
2. Para cada veciño (`V`) de `S`, calcula o custo (`Custo`) para alcanzar `V` como a suma do custo de `N` a `S` e de `S` a `V`
   - Se `V` non está en ningunha lista, engadeo á lista `Provisional` da forma `(V,Cust,SegSalto)`
   - Se `V` está en `Provisional`, e `Custo` é menor que o indicado, reemplázao por `(V,Cust,SegSalto)`
3. Se `Provisional` está baleira, acaba; se non pasa a entrada de `Provisional` con menor custo a `Confirmado`
4. Volve ao paso 1

Encamiñamento de estado dos enlaces

Algoritmo de Dijkstra



Destino	Coste	SigSalto
A	10	C
B	5	C
C	2	C

Tabla de routing del nodo D

Paso	Confirmado	Provisional	Comentarios
1	(D,0,−)		D es el único elemento inicial de **Confirmado**
2	(D,0,−)	(B,11,B) (C,2,C)	El LSP de D dice que puede alcanzar B a coste 11, y C a coste 2. Lo pone en **Provisional**.
3	(D,0,−) (C,2,C)	(B,11,B)	Pasa el miembro de **Provisional** con menor coste (C) a **Confirmado**, y examina su LSP.
4	(D,0,−) (C,2,C)	(B,5,C) (A,12,C)	El coste de alcanzar B a través de C es 5, asi que reemplaza (B,11,B) por (B,5,C). El LSP de C indica qu puede alcanzar A con coste 10+ 2 a través de C.
5	(D,0,−) (C,2,C) (B,5,C)	(A,12,C)	Pasa el miembro de **Provisional** con menor coste (B) a **Confirmado**, y examina su LSP.
6	(D,0,−) (C,2,C) (B,5,C)	(A,10,C)	El LSP de B dice que puede alcanzar A a coste 5, así que cambia (A,12,C) por (A,10,C) (el coste D−B es 5 a través de C)
7	(D,0,−) (C,2,C) (B,5,C) (A,10,C)		Pasa el miembro de **Provisional** con menor coste (A) a **Confirmado**, y ya está.

Encamiñamento de estado dos enlaces

Complexidade algorítmica do algoritmo de Dijkstra

- Complexidade cadrática, $O(n^2)$

Ventaxas

- Estabilizase rápidamente
- Non xera moito tráfico
- Responde rápidamente a cambios na topoloxía ou fallos de nodos

Inconvintes

- A cantidade de información (LSPs) almacenada en cada nodo pode ser bastante grande $\Rightarrow$
  - Problemas de escalabilidade

Encamiñamento de vector de distancias

Algoritmo descentralizado

- Todos os nodos colaboran

Funcionamento

- Inicialmente, os nodos so coñecen o custo aos seus veciños
- Iterativamente, os nodos comunican aos seus veciños todo o que saben
- Os nodos computan distancias a novos nodos ou actualizan as que teñen con menores valores
- As actualizacións continúan ata que converxe
- A información que un nodo z comunica a os seus veciños son as distancias $d_{z,i}$
- Almacenase o veciño que enviou dita información (seguinte salto)

Encamiñamento de vector de distancias

Funcionamento

Sexa o nodo x cun veciño z, cuxo enlace ten custo $c_{x,z}$, e que z envía $d_{z,y} \Rightarrow$

$$D_{x,y}(z) = c_{x,z} + d_{z,y}$$

distancia de x a y a través da saída z	custo do enlace que une x con z	distancia de z a y

táboa de distancias do nodo x

		distancia por z	distancia por z'
destino	y	$D_{x,y}(z)$	$D_{x,y}(z')$
	y'	$D_{x,y'}(z)$	$D_{x,y'}(z')$

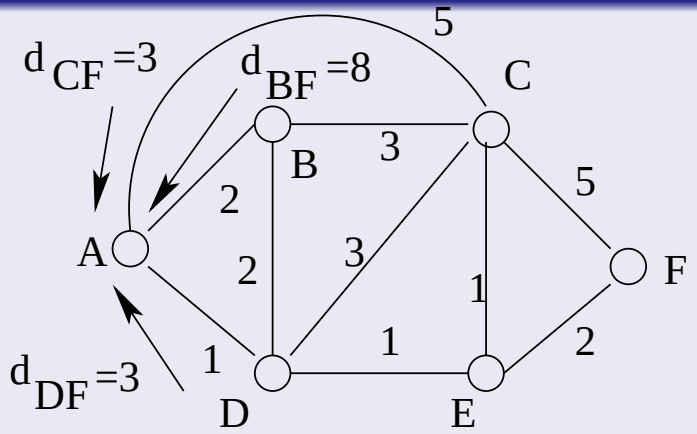
Encamiñamento de vector de distancias

Exemplo

- Nodos B, C e D envían a A a distancia a F
- A calcula as distancias

$$D_{A,F}(B) = c_{A,B} + d_{B,F} = 2 + 8 = 10$$
$$D_{A,F}(C) = c_{A,C} + d_{C,F} = 5 + 3 = 8$$
$$D_{A,F}(D) = c_{A,D} + d_{D,F} = 1 + 3 = 4$$

- A táboa de distancias para A



		distancia por		
		B	C	D
destino	...	...	...	...
	F	10	8	4

Encamiñamento de vector de distancias

Exemplo

- A comunica a os seus veciños a distancia a F, $d_{A,F} = \min_z D_{A,F}(z) = 4$
- Despois de certas iteracións, converxe

		distancia por		
		B	C	D
destino	B	2	8	3
	C	5	5	3
	D	4	7	1
	E	5	6	2
	F	7	8	4

táboa de distancias de A

destino	saída
B	B
D	D
C	D
E	D
F	D

táboa de rutas de A

Encamiñamento de vector de distancias

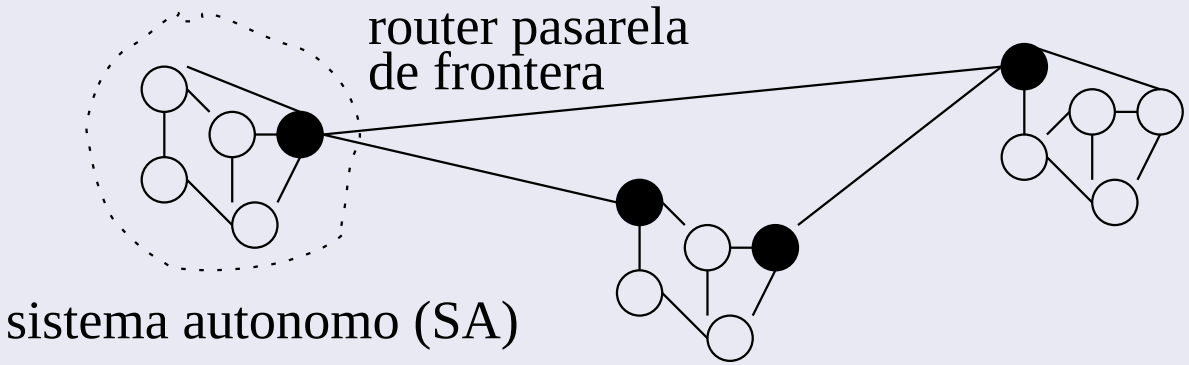
Características

- Intercambio de actualizacións cos veciños
  - Periódicamente
  - Cando un cambio na súa táboa ou no custo dun enlace
    - Disminución do custo dun enlace: actualización rápida das táboas
    - Aumento do custo dun enlace: algúns problemas. Resólvese con diversas técnicas:
    - Inverso envenenado: Se X enruta a Y través dun nodo Z, dille a Z que $D_{X,Y} = \infty$, non vale se o problema non é en nodos veciños
    - Horizonte dividido: non se publican as rutas pola interface desde que se aprenderon
- Iterativo: pode precisar moitas iteracións. Peor que EE.
- Menos robusto que EE: se un nodo calcula mal as súas distancias, todos usarán eses valores incorrectos

Encamiñamento xerárquico

Sistemas autónomos (SA)

- Rexións nas que se dividen as redes grandes como Internet
- Operados por empresas u organismos
- Os routers so coñecen un encamiñamento na súa rexión
- *Routers pasarela fronteira*: centralizan o tráfico de saída do SA



- Dous niveis de encamiñamento:
  - Intradominio: cada SA pode elexir algoritmo
  - Interdominio: común para todos os SA

Índice

Encamiñamento na Internet

Protocolos usados na Internet

- Intradominio ou internos ao SA (IGP): RIP y OSPF
- Interdominio ou entre SAs: BGP

Categoría	Protocolo	Tipo	Protocolos transporte/rede
intra-autónomo	RIP	VD	UDP/IP (porto 520)
	OSPF	EE	propio/IP (puerto 89)
inter-autónomo	BGP	VD	TCP/IP (porto 179)

- Protocolos da capa de aplicación

RIP (*Routing Information Protocol*)

Protocolo de información de encamiñamento

- Encamiñamento intradominio basado en vector de distancias
- Considera que o custo dos enlaces é 1 e distancia máxima 15
- Mensaxes RIP so aos nodos veciños
  - Mensaxes de petición RIP: solicitan información
  - Mensaxes de resposta RIP: lista de ata 25 redes internas ao SA
    - Tamén de forma automática cada 30 s. aos seus veciños. Se non se recibe resposta en 180 s., considerase caído

OSPF (*Open Shortest Path First*)

Protocolo aberto de primeiro o camiño máis curto

- Aberto: algoritmo libre
- Encamiñamento intradominio baseado en estado dos enlaces
- Máis avanzado que RIP, pensado para reemplazalo
- Mensaxes OSPF difundense a todos os nodos
  - Cando se producen cambios
  - Periódicamente, ao menos cada 30 minutos
  - Cada router obtén información completa do SA
- Mensaxes HELLO a cada veciño, para comprobar que o enlace está OK
- Posibilidade de interrogar a un veciño para obter toda a información
- O custo das mensaxes os pon o administrador

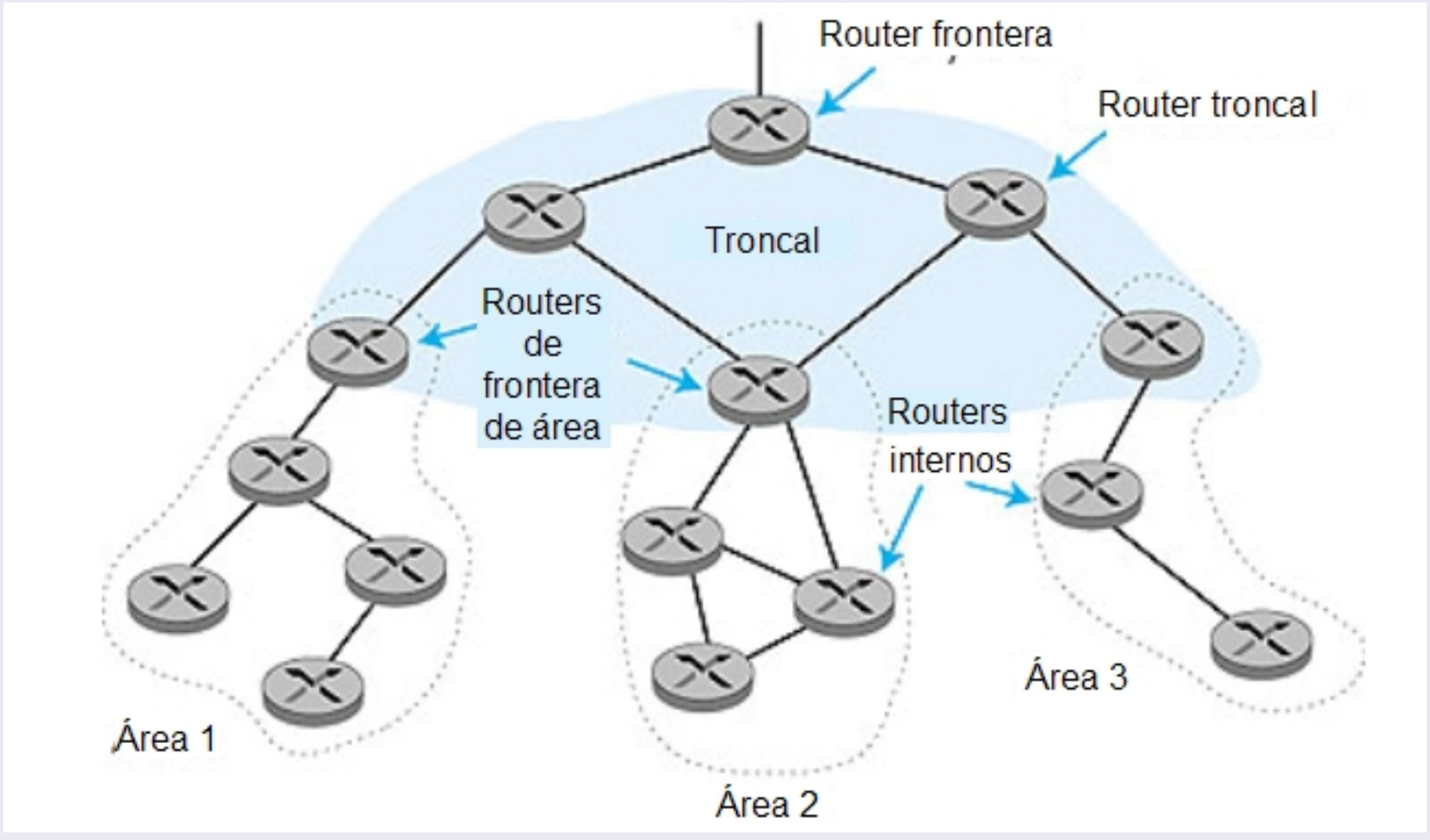
OSPF (*Open Shortest Path First*)

Protocolo aberto de primeiro camiño máis curto

- Seguridade: implementa un protocolo de transporte propio
  - Con toda-las mensaxes autentificadas
  - So considera os routers autenticados
- Múltiples camiños de mesmo custo: permite repartir o tráfico
- Soporte de xerarquía: permite subdividir os SA en áreas
  - Cada área executa OSPF sobre os routers de esa área
  - As áreas comunicanse entre si mediante os routers de fronteira de área
    - Paquetes con destino fora da área encamiñanse ao router de fronteira de área
    - Interconectados entre si nunha área troncal
  - No SA existe un router de fronteira para sair fora do SA

OSPF (*Open Shortest Path First*)

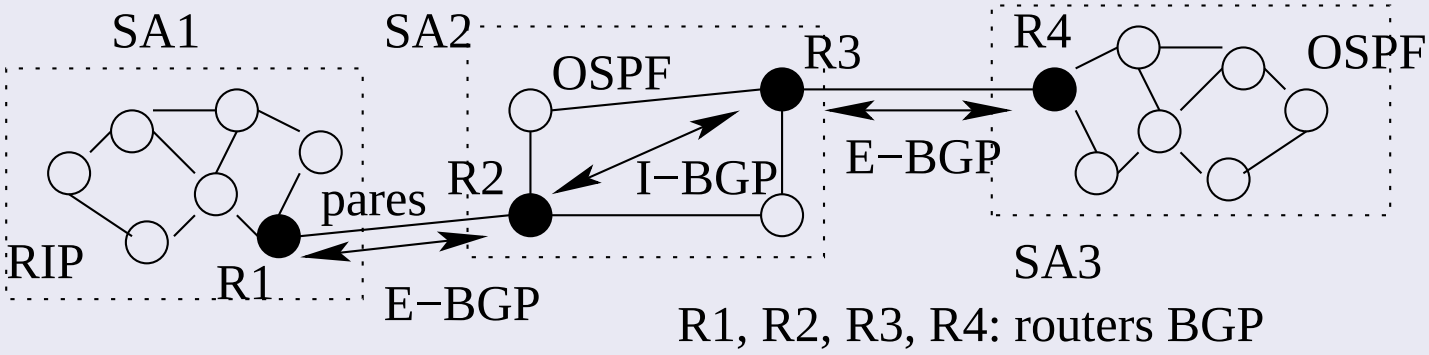
OSPF xerárquico



BGP (*Border Gateway Protocol*)

Protocolo de pasarela de fronteira

- Protocolo interdominio estándar na Internet (BGP4)
- Comunica routers pasarela de fronteira



- Cada SA pode usar o protocolo intradominio que desexe
- Dous tipos de comunicacións:
  - Entre routers BGP veciños, *pares* BGP. Usase E-BGP
  - Entre routers do mesmo SA, considerados veciños lóxicos. Usase I-BGP

BGP (*Border Gateway Protocol*)

Protocolo de pasarela de frontera

- Protocolo similar ao de vector de distancias, intercambianse rutas completas (vector de rutas)
- Cada SA identificase por un número de sistema autónomo único
- Os administradores poden decidir as políticas de encamiñamento

rede destino	métrica
x	4

Exemplo de mensaxe en RIP

rede destino	ruta
x	SA1/SA2/SA3/S4

Exemplo de mensaxe en BGP

Índice

IP (*Internet Protocol*)

Protocolo de Internet

- Protocolo baseado en datagramas: servizo sen conexión
- A fiabilidade recae en capas superiores (TCP)
- Diseñado para interconectar redes diferentes

Compoñentes da capa de rede en Internet

- Protocolo de rede: IP
  - Define o formato das direccións
  - Formato dos datagramas
  - Accións dos routers en base aos campos dos datagramas
- Protocolo de encamiñamento
- Protocolo de mensaxes de control de Internet (ICMP)

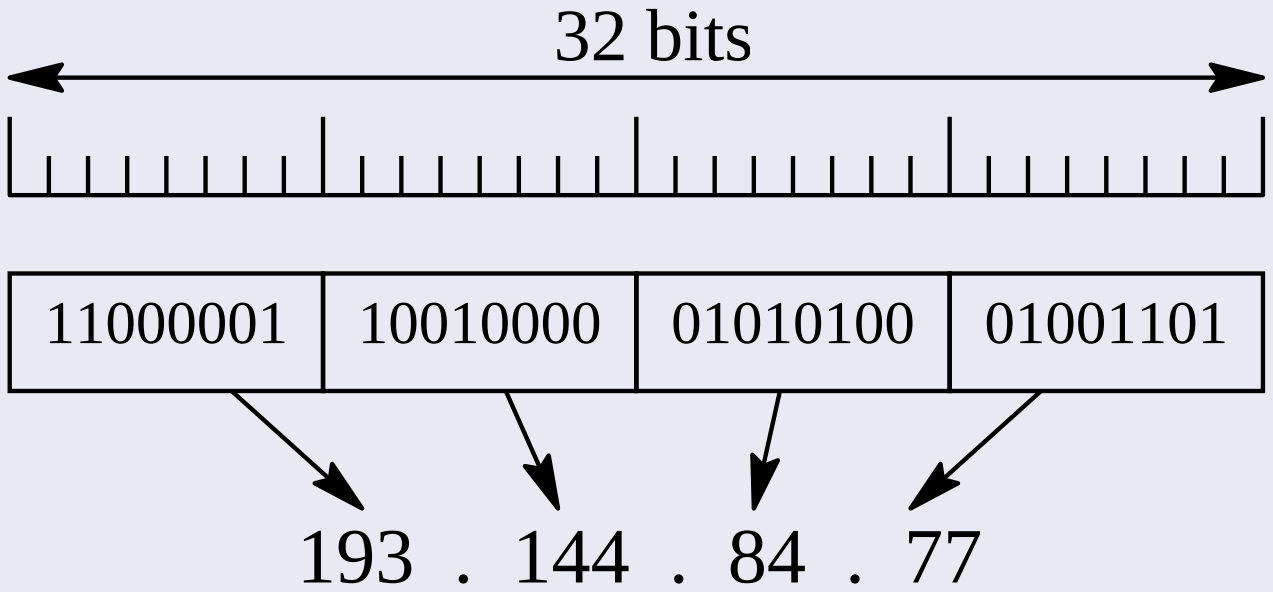
IP (*Internet Protocol*)

Direccionamiento IPv4

- Os nodos nunha rede teñen unha dirección IP por interface
- Interface: a unión dun host ou router cun enlace

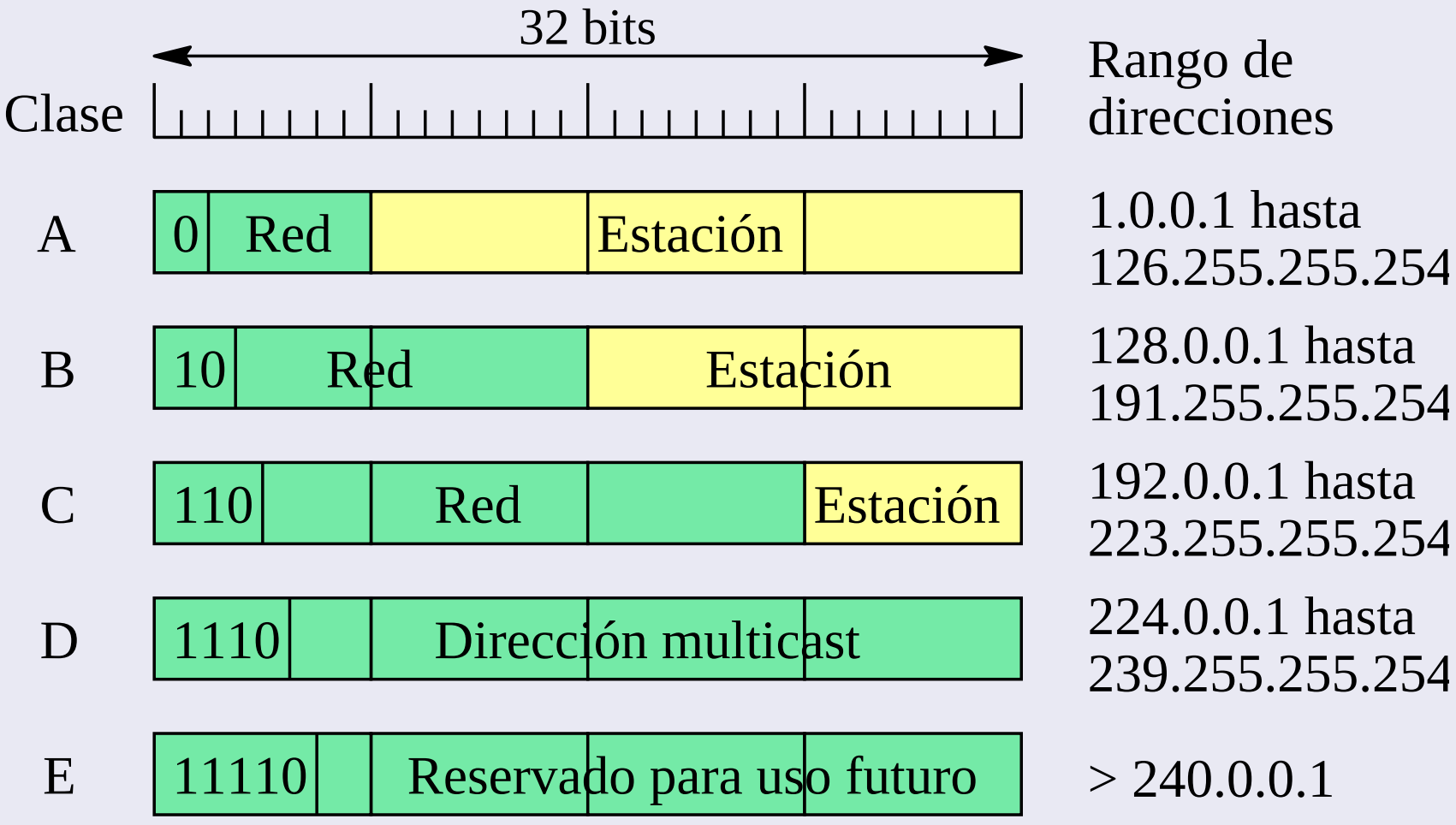
Codificación da dirección IP

- En IPv4, cada dirección IP codificase mediante 4 bytes, xeralmente escritos en notación decimal



IP (*Internet Protocol*)

Direccionamiento IPv4 (orixinalmente)



Direccionamiento IPv4

Proporción redes-máquinas

- Restricción: un campo de rede ou de host non pode estar todo a 1s ou todo a 0s
- Segundo isto temos:
  - Clase A: 126 ($2^7 - 2$) redes con $\approx$ 16 millóns de estacións cada unha ($2^{24} - 2 = 16777214$)
  - Clase B: 16384 (2^{14}) redes con 65534 ($2^{16} - 2$) estacións cada unha
  - Clase C: $\approx$ 2 millóns de redes ($2^{21} = 2097152$) con 254 estacións cada unha ($2^8 - 2$)

Direccionamiento IPv4

Direccións especiais reservadas

- Identificación de redes: o nº de rede e o resto a 0
- Exemplos:
  - Clase A → 10.0.0.0
  - Clase B → 172.16.0.0
  - Clase C → 193.144.84.0
- Dirección de broadcast: o nº de rede e o resto a 1
- Exemplos:
  - Clase A → 10.255.255.255
  - Clase B → 172.16.255.255
  - Clase C → 193.144.84.255

Direccionamiento IPv4

Direccións especiais reservadas

- Algunhas direccións reservadas polo IANA:
  - 0.0.0.0 → *Esta rede*. Para arrincar sistemas sen disco (protocolo DHCP, tamén encamiñamento por defecto)
  - 127.0.0.0–127.255.255.255 → a propia estación (dirección de *loopback*), soese usar a 127.0.0.1
  - 240.0.0.0–255.255.255.254 → reservadas para uso futuro
  - 255.255.255.255 → difusión a toda a rede (protocolo DHCP)
- Descritas no RFC 3330

Direccionamiento IPv4

Subredes

- Problema: o número de estaciones nunha rede pode ser demasiado grande $\Rightarrow$ dificultades de administración
- Solución: dividir a rede en subredes, que se xestionen de forma independente pero que actúen como unha soa de cara ao exterior

Máscara de subrede

- Utilizamos parte do campo estación para indicar a subrede (* actualmente xa non)
- Empleamos *máscaras* para delimitar a subrede
- Formato de máscara: 32 bits dos que os n máis significativos están a 1 e os $32 - n$ restantes a 0
- Exemplo: máscara de 27 bits, denotase como sufixo $/27$
  $255.255.255.224 \equiv 11111111.11111111.11111111.11100000$

Direccionamiento IPv4

Exemplo de máscara

- Dirección clase C 193.168.17.0/27 (ou máscara 255.255.255.224)
  - Os 24 primeros bits indican a rede (193.168.17)
  - Os 3 seguintes a subrede
    - hoxe en dia os 27 primeiros son a rede
  - Os 5 últimos a posición da estación na subrede
  - Temos $2^3 = 8$ subredes, con $2^5 - 2 = 30$ estacións por subred
    - hoxe en dia non habería subredes desta forma
  - En total, podemos direccionar $8 \times 30 = 240$ estacións (254 en clase C sen máscara)

Direccionamiento IPv4

Exemplo de máscara

- Dirección 193.168.17.0/27 (clase C)

Nº de subrede	Dir. base	Dir. broadcast
0	193.168.17.0	193.168.17.31
1	193.168.17.32	193.168.17.63
2	193.168.17.64	193.168.17.95
3	193.168.17.96	193.168.17.127
4	193.168.17.128	193.168.17.159
5	193.168.17.160	193.168.17.191
6	193.168.17.192	193.168.17.223
7	193.168.17.224	193.168.17.255

Direccionamiento IPv4

Exemplo de subredes

- Dirección 193.168.17.133/27
  - A qué subrede pertence? (*actualmente isto non se ten en conta)

193.168.17.133 → 11000001.10101000.00010001.10000101
255.255.255.224 → 11111111.11111111.11111111.11100000 ⊗

11000001.10101000.00010001.10000000

11000001.10101000.00010001 → Red

10000000 → Subred 4

  - Que posición ocupa na subrede?

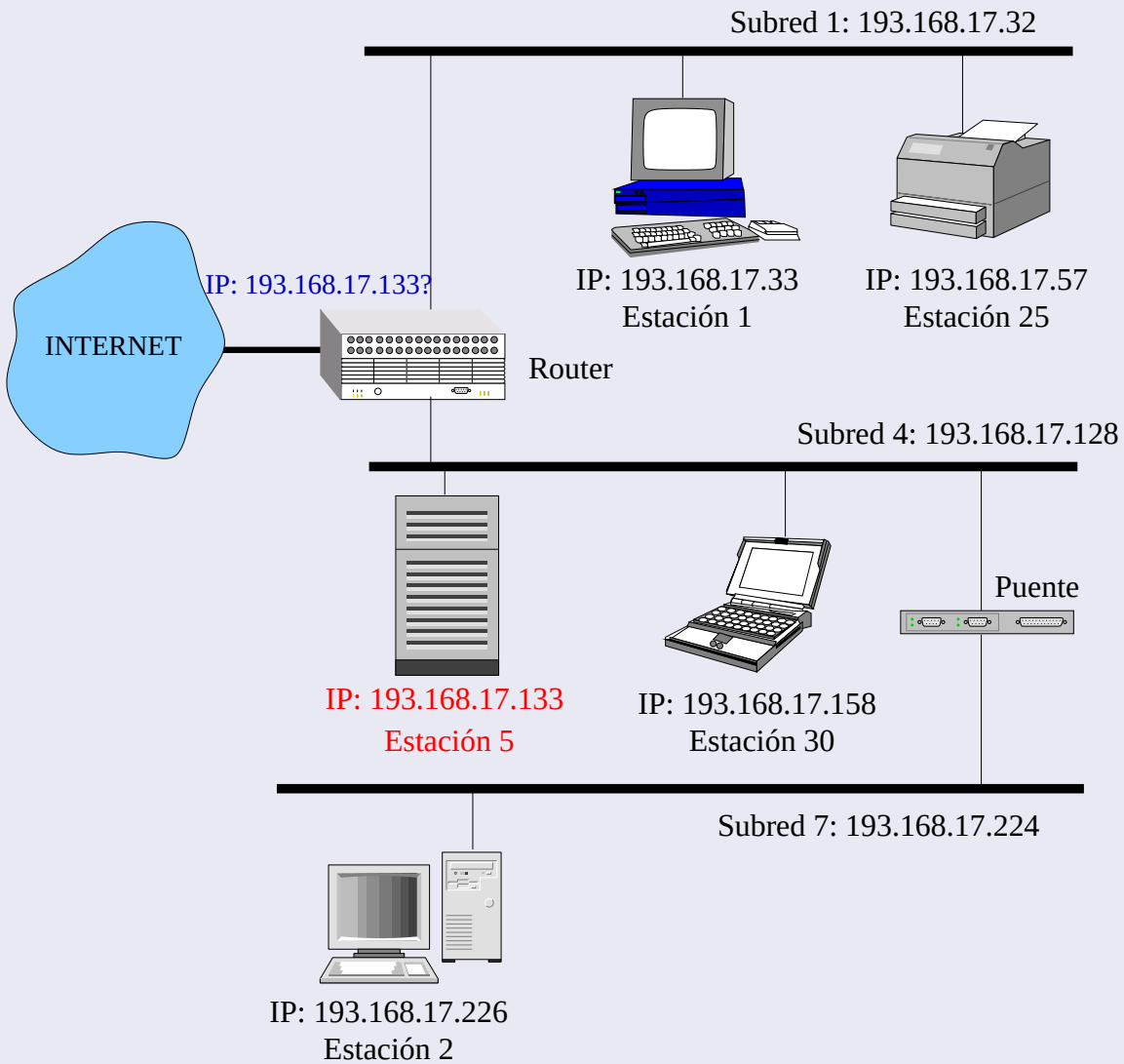
193.168.17.133 → 11000001.10101000.00010001.10000101
255.255.255.224 → 00000000.00000000.00000000.00011111 ⊗

00000000.00000000.00000000.00000101

00000101 → Estación 5

Direccionamiento IPv4

Esquema de rede con subredes



Direccionamiento IPv4

Redes sen clase

- En 1993, suprimense as clases
- Direccións CIDR (*Classless Inter-Domain Routing*)
  - Sufixo $/s \Rightarrow s$ bits para indicar a rede e $32 - s$ para indicar a estación ($2^{(32-s)} - 2$ estacións)
- Exemplos: 193.168.64.0/18, 130.0.0.0/8
- Tamén se coñecen como *superredes*
- Exemplo: 193.168.173.253/18
  - Nº de rede: 11000001.10101000.10000000.00000000 = 193.168.128.0
  - Broadcast: 11000001.10101000.10111111.11111111 = 193.168.191.255
  - Nº estación: 11000001.10101000.10101101.11111101 = estación nº 11773
  - Nº total de estacións: $2^{14} - 2 = 16382$

Direccionamiento IPv4

Subredes en redes sen clase

- As redes con clase serían: A/8, B/16 y C/24
- O concepto de subredes segue existindo porque as redes poden dividirse

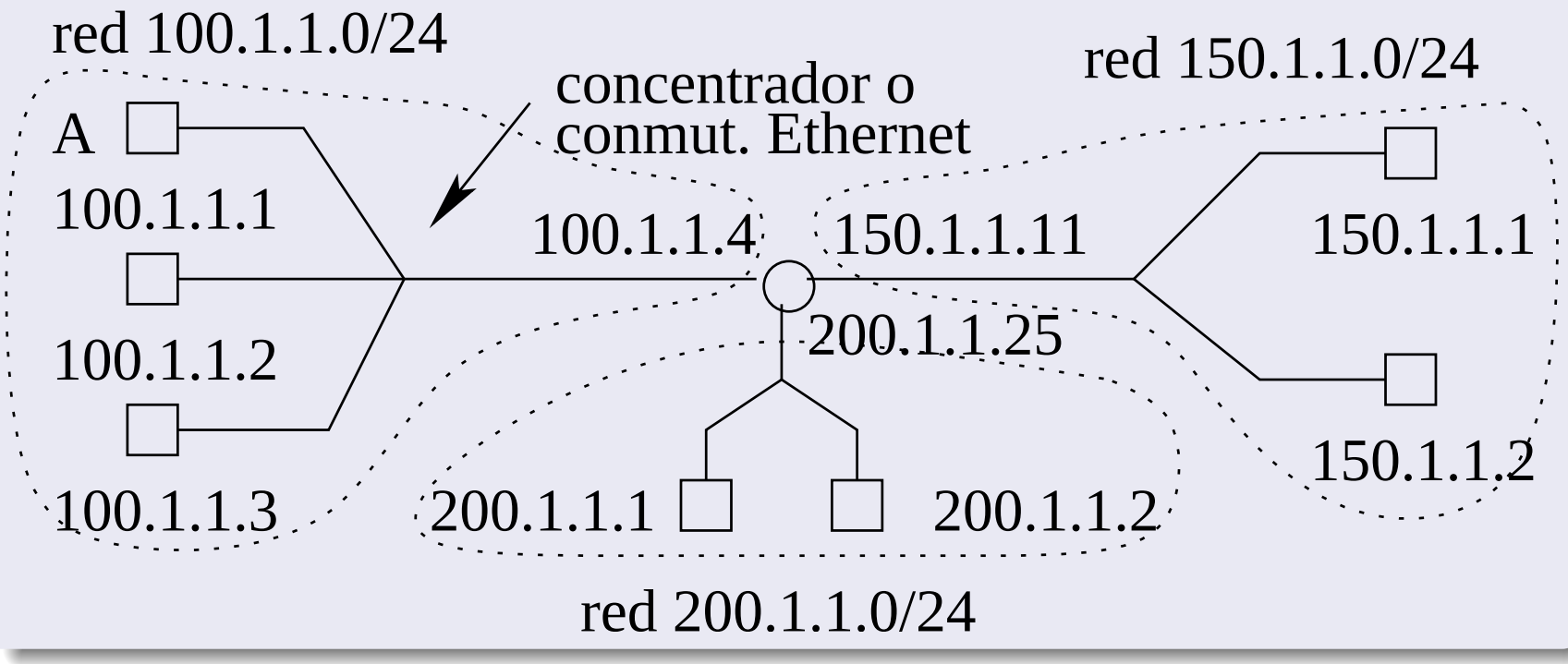
193.144.48.0/20 en dúas subredes				
193	144	0011-0-000	0	subrede 193.144.48.0/21
193	144	0011-1-000	0	subrede 193.144.56.0/21

193.144.48.0/20 en 8 subredes				
193	144	0011-000-0	0	subrede 193.144.48.0/23
193	144	0011-001-0	0	subrede 193.144.50.0/23
...				
193	144	0011-111-0	0	subrede 193.144.62.0/23

Direccionamiento IPv4

Exemplo de rede: 3 redes conectadas a un router

- Cada interface ten unha dirección IP



Direccionamiento IPv4

Exemplo de rede: 3 redes conectadas a un router

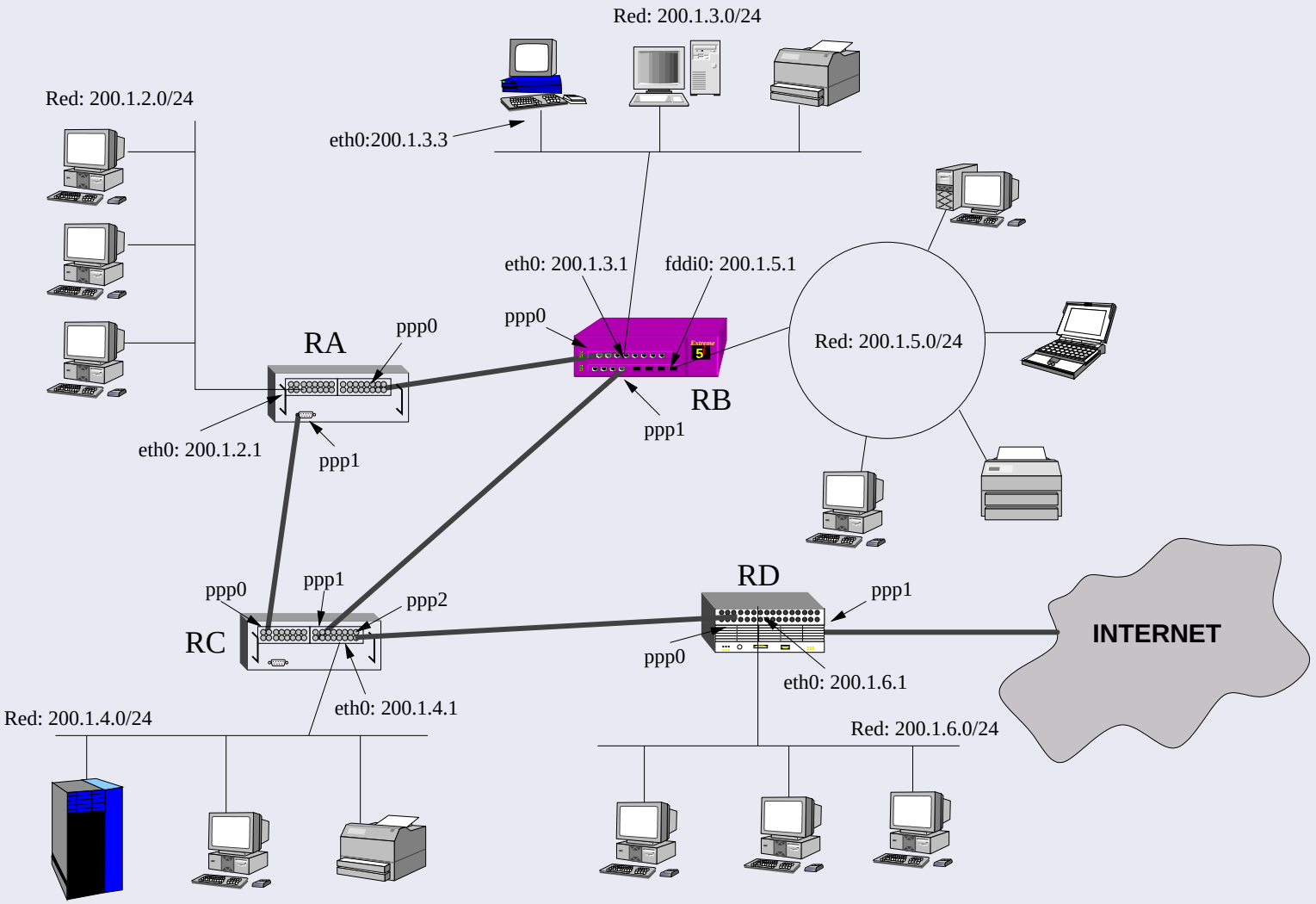
- Cada interface ten unha dirección IP

táboa de rutas do host A			
destino	interface	gateway	métrica
100.1.1.0/24	eth0 (=100.1.1.1)	*	0
150.1.1.0/24	eth0 (=100.1.1.1)	100.1.1.4	1
200.1.1.0/24	eth0 (=100.1.1.1)	100.1.1.4	1

táboa de rutas do router			
destino	interface	gateway	métrica
100.1.1.0/24	eth0 (=100.1.1.4)	*	0
150.1.1.0/24	eth1 (=150.1.1.11)	*	0
200.1.1.0/24	eth2 (=200.1.1.25)	*	0

Direccionamiento IPv4

Exemplo de rede



Direccionamiento IPv4

Exemplo de rede: táboas de reenvío dos routers

ROUTER A

Red destino	Gateway	Interfaz
200.1.2.0	200.1.2.1	eth0
200.1.3.0	*	ppp0
200.1.4.0	*	ppp1
200.1.5.0	*	ppp0
200.1.6.0	*	ppp1
0.0.0.0	*	ppp1

ROUTER B

Red destino	Gateway	Interfaz
200.1.2.0	*	ppp0
200.1.3.0	200.1.3.1	eth0
200.1.4.0	*	ppp1
200.1.5.0	200.1.5.1	fddi0
200.1.6.0	*	ppp1
0.0.0.0	*	ppp1

ROUTER C

Red destino	Gateway	Interfaz
200.1.2.0	*	ppp0
200.1.3.0	*	ppp1
200.1.4.0	200.1.4.1	eth0
200.1.5.0	*	ppp1
200.1.6.0	*	ppp2
0.0.0.0	*	ppp2

ROUTER D

Red destino	Gateway	Interfaz
200.1.2.0	*	ppp0
200.1.3.0	*	ppp0
200.1.4.0	*	ppp0
200.1.5.0	*	ppp0
200.1.6.0	200.1.6.1	eth0
0.0.0.0	*	ppp1

Direccionamiento IPv4

Exemplo de rede: táboas de reenvío dun host

Sistema 200.1.3.3

Red destino	Gateway	Interfaz
127.0.0.1	*	lo
200.1.3.0	*	eth0
0.0.0.0	200.1.3.1	eth0

- Consulta das táboas de rutas en linux: `route [-n]`

Direccionamiento IPv4

táboa de reenvío dos routers

táboa de reenvío dun router			
destino	interface	gateway	métrica
...	...	...	...
194.24.0.0/21	int_i	*	i saltos
194.24.8.0/22	int_j	*	j saltos
194.24.16.0/20	int_k	*	k saltos
...	...	...	...
0.0.0.0/0 (por defecto)	int_x	*	x saltos

- Coincidencia do prefixo máis longo
- Agregación de rutas

Direccionamiento IPv4

Reenvío dun paquete: coincidencia do prefixo máis longo

- Que ocorre cando lle chega un paquete a 194.24.17.4?
  - Coincidencia de prefixo: realizase un AND con cada máscara ata que se produza a coincidencia de prefixo
    - Con 194.24.0.0/21

      194. 24.00010*001.00000100* = 194.24.17.4
      255.255.11111*000.00000000* = 255.255.248.0
      194. 24.00010*000.00000000* = **194.24.16.0**

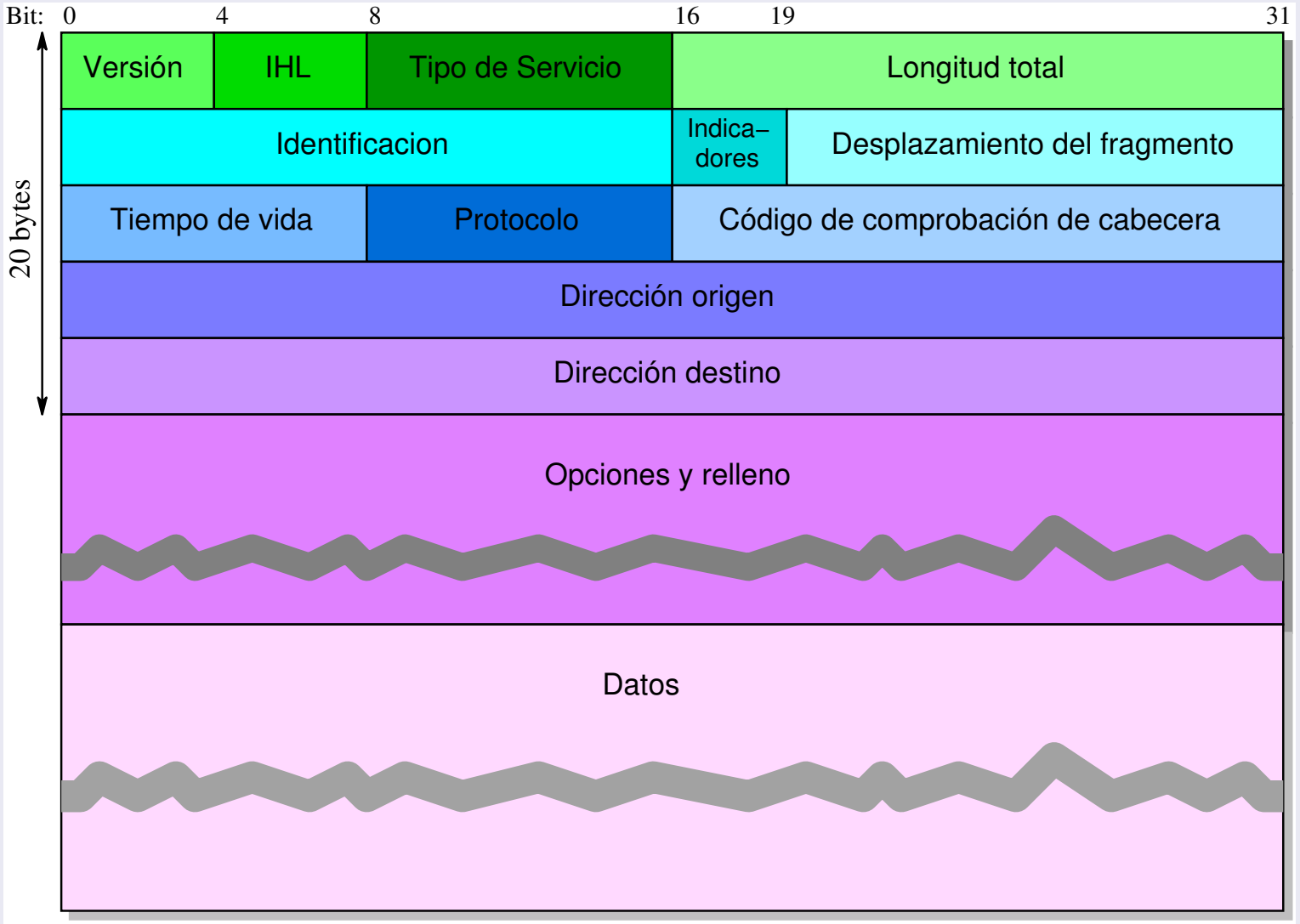
      Non coincide coa dirección base da rede (194.24.0.0)
    - Con 194.24.16.0/20

      194. 24.00010*001.00000100* = 194.24.17.4
      255.255.1111*0000.00000000* = 255.255.240.0
      194. 24.00010*000.00000000* = **194.24.16.0**

      Si coincide coa dirección base da rede (194.24.16.0) $\Longrightarrow$ envíase poa interface correspondente
    - Se houbese outra coincidencia cun prefixo máis longo (máscara máis grande), reenviaríase pola interface asociada a esa entrada

Datagrama IP

Formato do datagrama IP

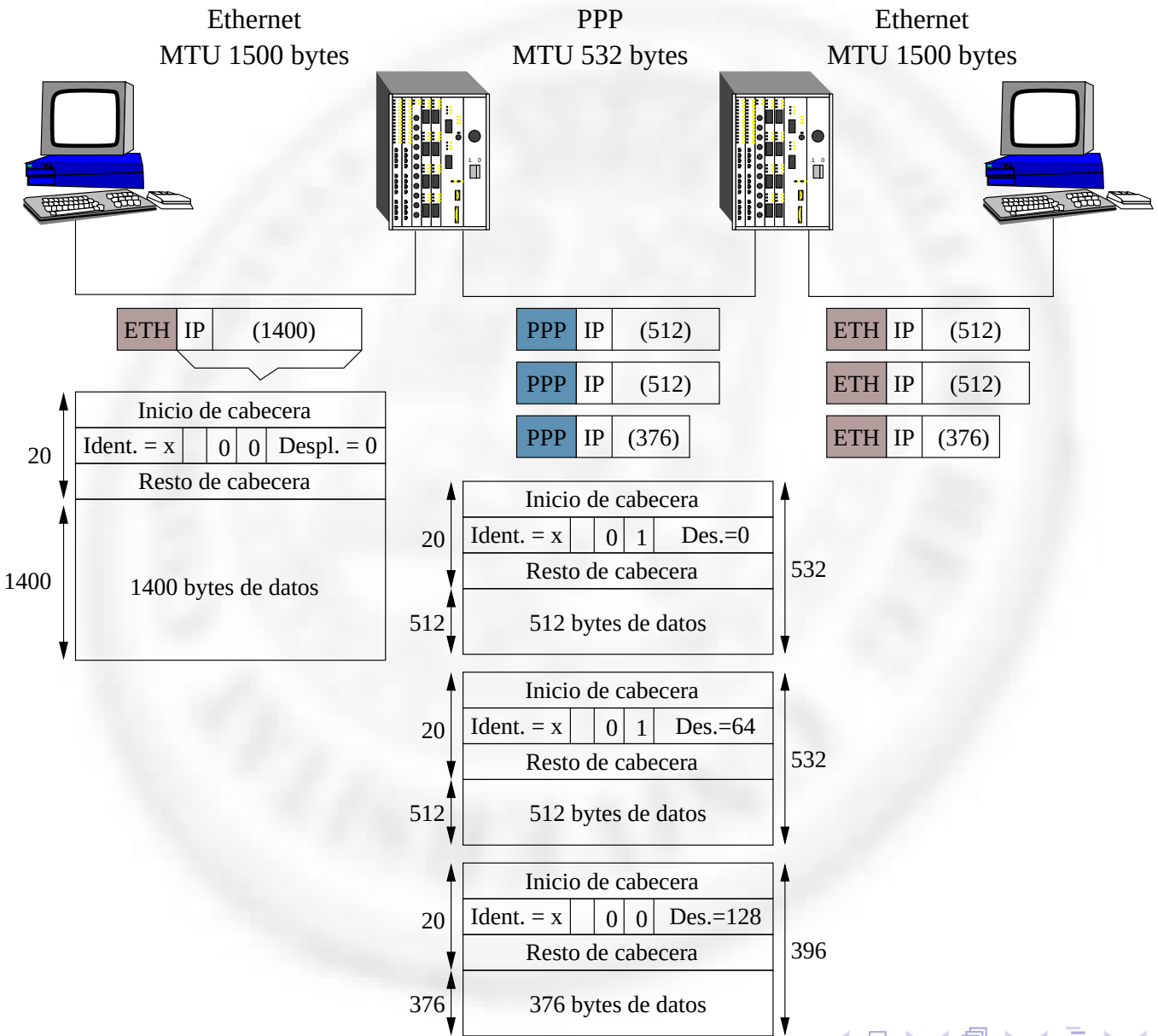


Datagrama IP

Fragmentación

- As redes poden especificar un tamaño máximo para os paquetes ⇒
  - Necesidade de fragmentar os datagramas en unidades máis pequenas
  - MTU: *Maximun transmission unit*, tamaño máximo de datagrama IP que pode enviarse nunha trama
- Dous niveis de numeración: nº de datagrama e desprazamento dentro do mesmo (en *octablocks*, de 8 bytes)
  - Uso dun bit MF *Máis fragmentos* (1 en todos menos o último)
  - Bit NF indica que non se fragmenta
- O reensamblado realizase no sistema destino
- Intentase evitar a fragmentación, facendo que TCP e UDP xeren segmentos pequenos (536 ou 1460 bytes)

Datagrama IP: fragmentación



IPv6

IP versión 6

- A capacidade de direccionamiento do IP actual (v.4) está no límite (último grupo rexional asignado en 2011)
  - Asia-Pacífico, APNIC: o 15/04/2011
  - América Latina e Caribe, LACNIC: o 10/06/2014
  - América do norte, ARIN: o 24/09/2015
  - África, AfriNIC: o 21/04/2017
  - Europa, Asia Central e Occidental, RIPE NCC: 15/11/2019
- Necesidade de simplificar o protocolo, para que os encamiñadores sexan máis eficientes
- Proporcionar maior seguridade
- Xurde IPv6 como resposta (inicialmente IPng)

IPv6

Características de IPv6

- Direccións de 128 bits $\Rightarrow 3{,}4 \times 10^{38}$ direccións
- Non existen clases
- Permite envío multicast
- Servizos en tempo real
- Servizos de autenticación e seguridade

IPv6

Direccións IPv6

- Representación con 8 campos de 16 bits en hexadecimal:
  `47CD:1234:4422:AC02:0022:1234:A456:0124`
- Forma compacta se hai cadeas de ceros:
  `47CD:0000:0000:0000:0000:0000:A456:0124`
  $\Leftrightarrow$ `47CD::A456:0124`
- Direccións IPv4 escritas como IPv6
  `::FFFF:193.144.84.77`
  - Facilitan a transición IPv4 $\rightarrow$ IPv6
- Uso de máscaras para a parte de rede e de host

dirección:	`3ffe:ffff:100:1:2:3:4:5/48`
máscara:	`ffff:ffff:ffff:0000:0000:0000:0000:0000`
rede:	`3ffe:ffff:0100:0000:0000:0000:0000:0000`

- Direccións *unicast*, *multicast* (comenzan por `ff`) y *anycast* (a cualquier host dunha rede)

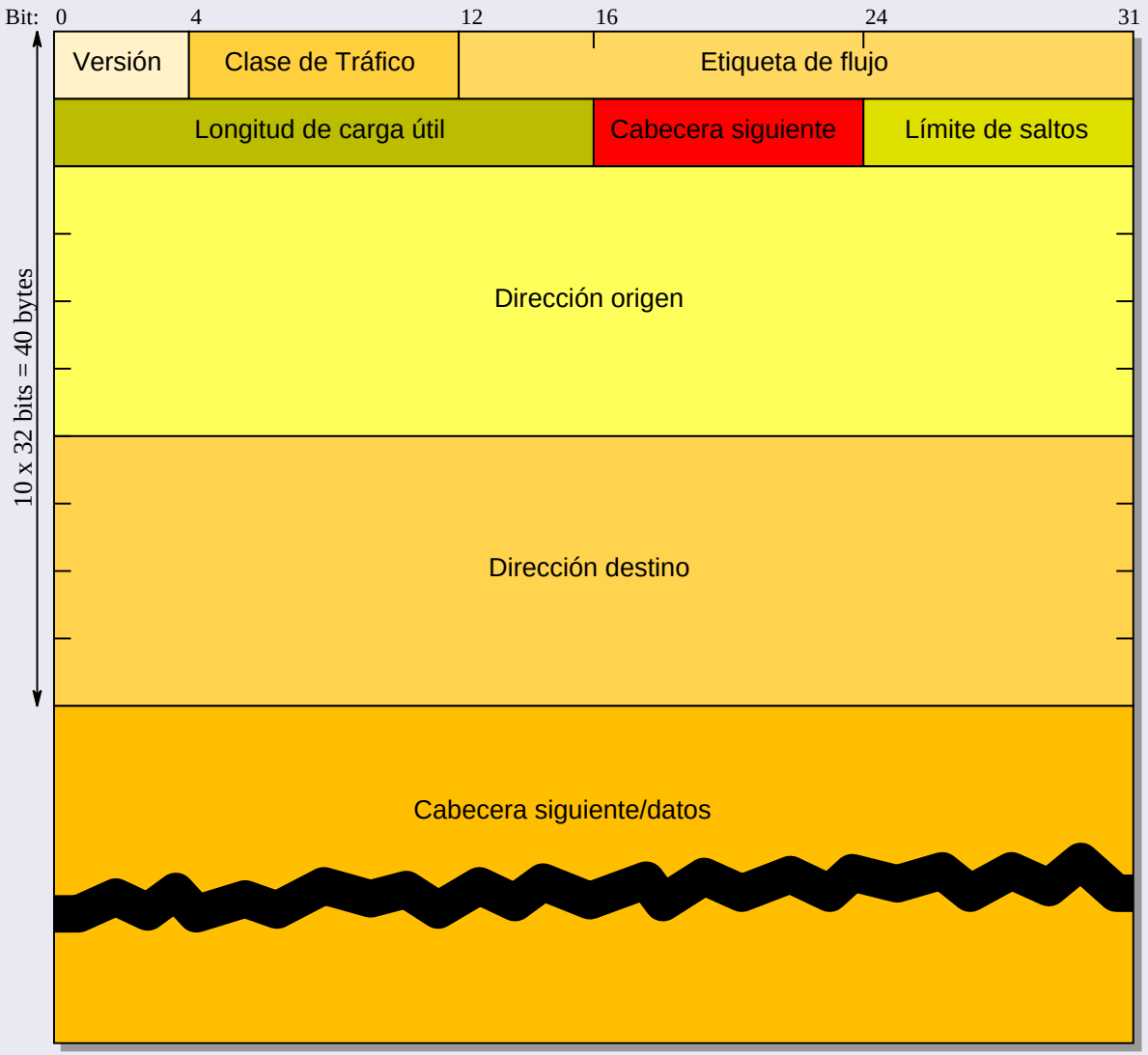
IPv6

cabeceira IPv6

- 40 bytes (desaparece a lonxitude de cabeceira), en 8 campos (menos que IPv4)
- Campos eliminados:
  - Opcións: indicanse en cabeceiras adicionais
  - Fragmentación: non se fragmentan. Se un datagrama é moi grande, devolvese unha mensaxe ICMP
  - Numeración dos paquetes: non se numeran
  - Suma de comprobación: aforrase procesamento nos routers
    - Queda na capa de transporte e posiblemente na de enlace
- Clase de tráfico e Etiqueta de fluxo (8 e 20 bits): relacionados coa QoS

IPv6

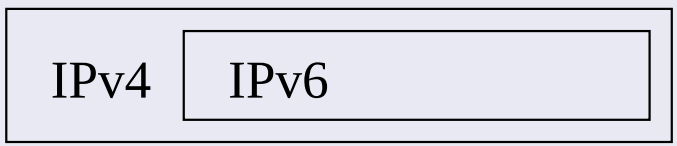
Formato del datagrama IPv6



IPv6

Transición de IPv4 a IPv6

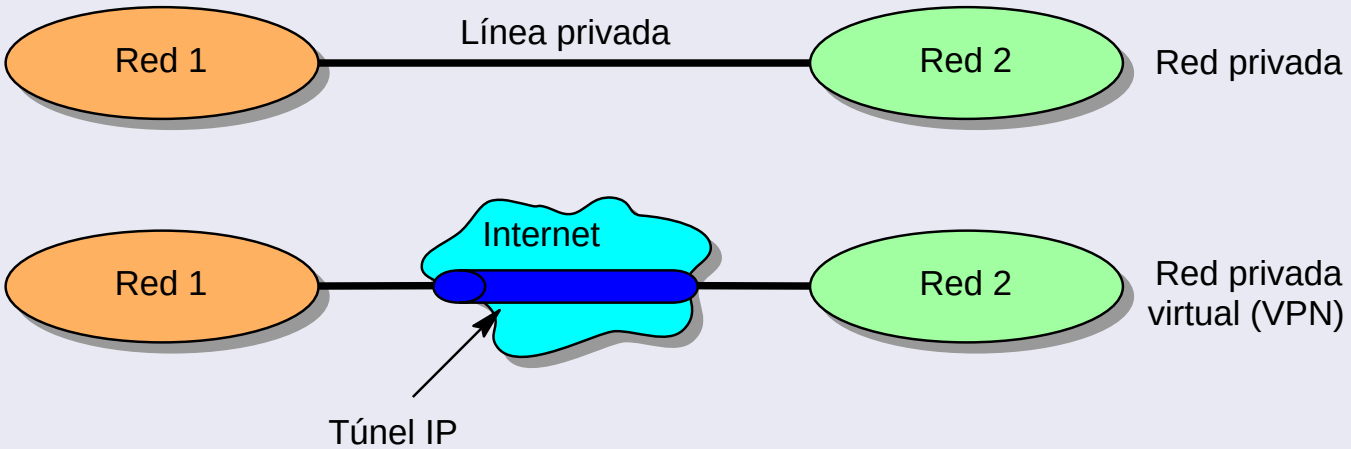
- Debe ser gradual e coexistirán as dúas
- Uso de túneles (*tunneling*)
  - Cando os paquetes IPv6 deban pasar por routers que non soportan IPv6
  - Encapsular os paquetes IPv6 dentro de paquetes IPv4
    - Engadir cabeceiras IPv4 coas direcciones dos routers que non soportan IPv6
    - Eliminar ditas cabeceiras ao chegar a zonas con routers IPv6



VPN: *Virtual Private Network*

Redes privadas virtuais

- Rede dunha organización que utiliza a rede pública para comunicarse de forma segura
- Usan sistemas de encriptación e autenticación
  - **IPsec**, protocolo de seguridade de IP para soportar comunicacións seguras e implementar VPNs
  - Tamén se poden implementar mediante túneles IP



VPN: *Virtual Private Network*

Túneles IP

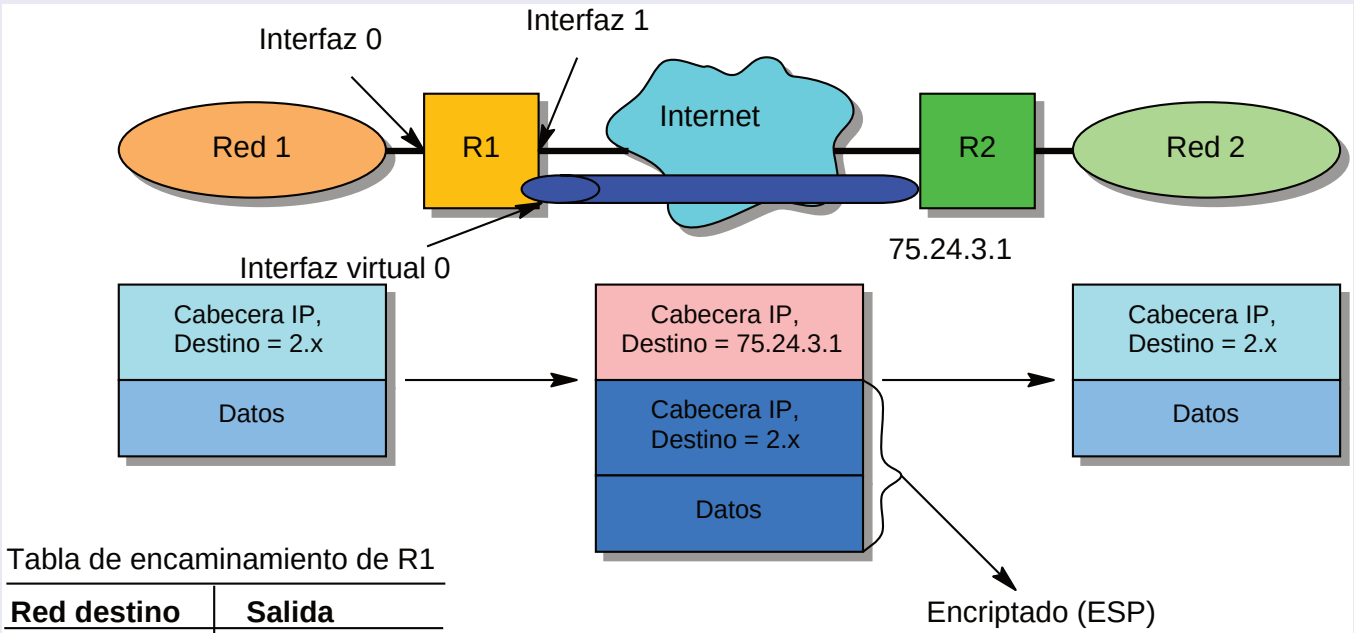


Tabla de encaminamiento de R1

Red destino	**Salida**
1	Interfaz 0
2	Interfaz virtual 0
Por defecto	Interfaz 1

- R1 cifra o datagrama coa chave pública de R2 e lle engade unha cabeceira con destino R2
- R2 o descifra coa súa chave privada e o envía ao destino

Índice

ICMP: *Internet Control Messages Protocol*

Protocolo de mensaxes de control de Internet

- Usase para que hosts e routers poidan informarse sobre erros ou o estado da rede
- Funciona sobre IP, pero non se garante a súa entrega
- Encapsúlase nun datagrama IP

Mensaxes ICMP

- Tipo e código da mensaje
- Os 8 primeiros bytes do datagrama que causou a mensaxe

ICMP: *Internet Control Messages Protocol*

Tipos de mensaxes ICMP

- *Destino inalcanzable*: o envía un nodo á estación orixe cando non pode alcanzar o destino ou cando o datagrama non pode fragmentarse e non pode atravesar unha rede (tipo ICMP 3)
- *Tempo excedido*: cando un nodo destrúe un datagrama porque o seu contador chegou a 0 o manda á estación orixe (tipo ICMP 11)
- *Ralentizar fonte*: para limitar o número de datagramas que as estacións introducen na rede e evitar a conxestión (tipo ICMP 4)
- *Solicitude de eco* e *Resposta de eco*: utilizanse para ver se un destino é alcanzable e atópase activo (uso en `ping`) (tipos ICMP 8 e 0)

ICMP: *Internet Control Messages Protocol*

Tipos de mensaxes ICMP

- *Problema de parámetro*: indica que se detectou un valor ilegal nun campo da cabeceira (tipo ICMP 12)
- *Redirixir*: utilizase cando un nodo dase conta de que hai un mellor camiño para enviar o datagrama
- *Marca de tempo* e *Resposta a marca de tempo*: para medir o retardo da rede
- *Petición de máscara de dirección* e *Resposta de máscara de dirección*: empleadas cando se usan subredes, permiten a un computador coñecer a máscara de subrede

Índice

DHCP: *Dynamic Host Configuration Protocol*

Protocolo de configuración dinámica de hosts

- Asignación de direccións IP aos hosts:
  - Estáticamente: o administrador do equipo
  - Dinámicamente: co protocolo DHCP
    - Cada vez que se inicia, solicita ao servidor unha IP temporal
    - Usado polos ISPs, cando non teñen direccións para todos os seus abonados
    - Tamén usado nas redes inarámicas
- Permite obter información para un host como:
  - a súa dirección IP
  - o *gateway* por defecto
  - servidores DNS dispoñíbeis

DHCP: *Dynamic Host Configuration Protocol*

Pasos do protocolo DHCP

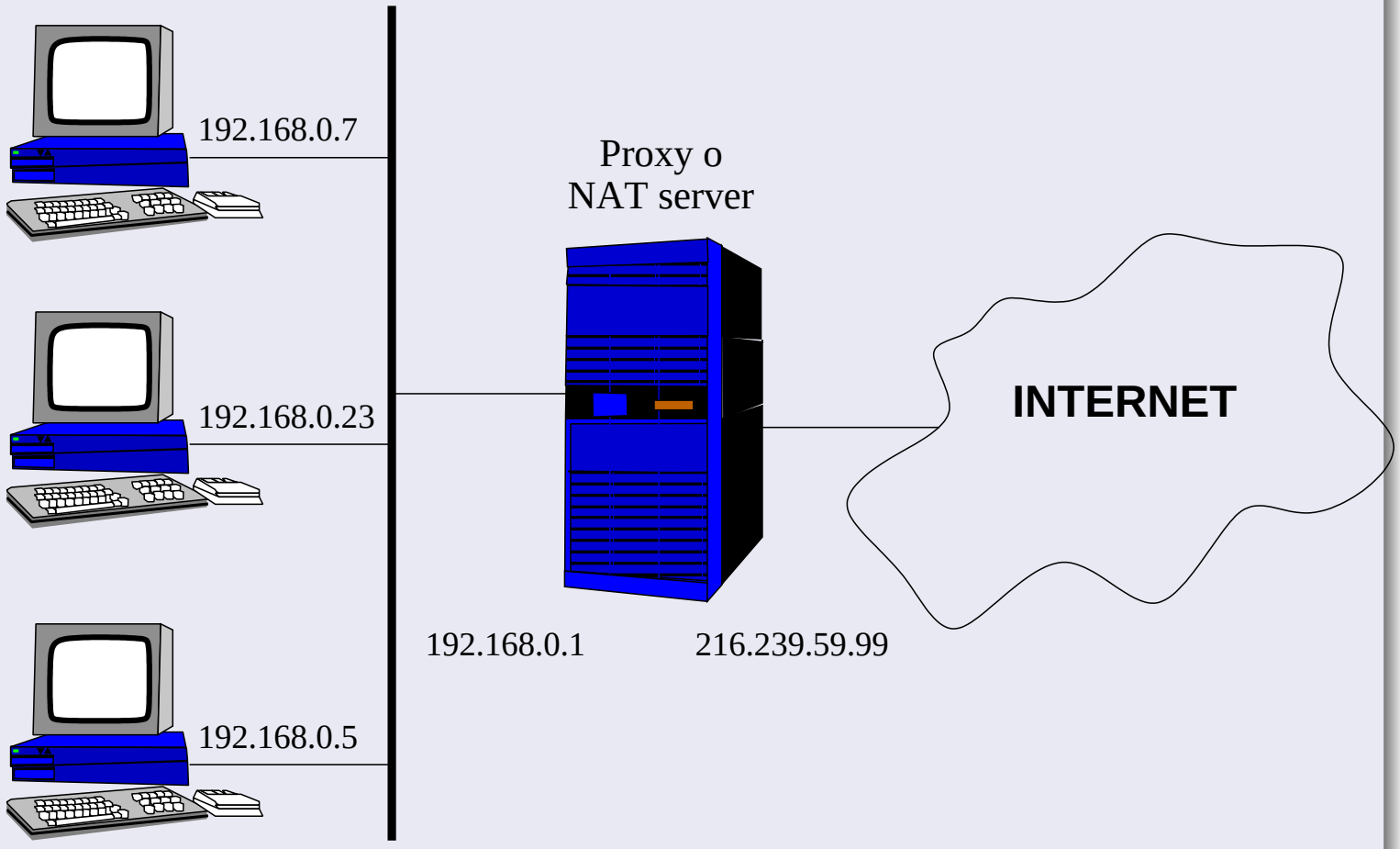
- Descubrimento dun servidor DHCP: mensaxe `DHCPDISCOVER`
  - IP destino 255.255.255.255 (broadcast)
  - IP orixe 0.0.0.0
- Ofrecemento do servizo DHCP: resposta do servidor cunha IP, máscara de rede, etc. e un tempo de concesión
- Petición DHCP: si hai varias ofertas, o cliente solicita unha
- ACK DHCP: o servidor confirma a solicitude

Índice

NAT: *Network Address Translation*

Traducción de direcciones de rede

- Permite usar a mesma IP válida en varios computadores



NAT: *Network Address Translation*

Direccións sen conexión a Internet

- Direccións especiais para uso en redes privadas:
  - Comunicacións internas dunha empresa
  - Conexión de varias estacións usando una única IP
  - Clase A: 10.0.0.0/8 (10.0.0.0–10.255.255.255)
  - Clase B: 172.16.0.0/12 (172.16.0.0–172.31.255.255)
  - Clase C: 192.168.0.0/16 (192.168.0.0–192.168.255.255)
- Os routers de Internet ignoran os paquetes con estas IPs
- Descritas no RFC 1918

NAT: *Network Address Translation*

Servidor NAT

- Necesita dúas interfaces e dúas IPs
  - Unha para a IP válida para conectar ao exterior
  - Outra cunha IP privada para conectar á rede interna
- Os computadores da red privada terán como gateway a IP privada do servidor NAT
- Encamiña de forma transparente os paquetes entre a rede interna e a rede externa
- Cambia a IP privada e porto orixe dos paquetes internos pola IP do servidor NAT e un porto libre
- Nunha táboa almacena IP orixe, porto orixe e porto usado
  - Polo porto usado sabe a que máquina enviar a resposta
- Pode combinarse fácilmente con filtrado de paquetes
- NAT traversal e UPnP

NAT: *Network Address Translation*

Funcionamento