

# Redes

## Tema 5: Capa de enlace

Oscar García Lorenzo

Escola Politécnica Superior de Enxeñería

# Índice

- 1 Introducción
- 2 Modelo IEEE 802
- 3 Direcciones MAC Ethernet
- 4 Ethernet
- 5 Conmutación de etiquetas multiprotocolo
- 6 Redes inarámicas
- 7 Redes ATM
- 8 Exemplo completo

# Índice

- 1 **Introducción**
- 2 Modelo IEEE 802
- 3 Direcciones MAC Ethernet
- 4 Ethernet
- 5 Conmutación de etiquetas multiprotocolo
- 6 Redes inarámicas
- 7 Redes ATM
- 8 Exemplo completo

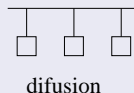
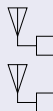
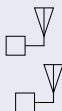
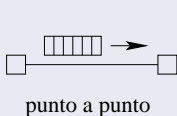
# Introducción

## Capa de enlace

- Encargase de transmitir bloques de bits dun lado a outro dun enlace
- Determina o acceso ao medio en redes de difusión
- Tramas ou marcos: PDU da capa de enlace

## Tipos de enlace

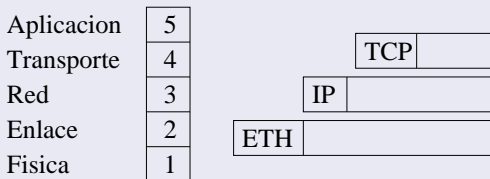
- *Punto a punto*: un emisor e un receptor a ámbolos extremos do enlace
- *Difusión*: medio de transmisión compartido por varios emisores



# Introducción

## Capa de enlace

- Implementada na tarxeta de rede (*adaptador*)
- Nodo: host ou router ao que se conecta o adaptador
- A capa de enlace engade a súa propia cabeceira



## Protocolos da capa de enlace

- Definen o formato das tramas
- Definen as accións dos nodos cando envían ou reciben tramas

# Introducción

## Servizos posíbeis dun protocolo de capa de enlace

- Entramado ou delimitado de tramas: encapsulado de datagramas
- Acceso ao enlace: protocolo MAC (control de acceso ao medio)
- Entrega fiábel: confirmacións e retransmisións
- Control de fluxo: limitar o envío de tramas
- Detección de erros: máis sofisticada que en capas superiores
- Corrección de erros: paridade, checksums e CRC
- Half-duplex e full-duplex: transmisión nun ou ambo-los sentidos á vez

# Índice

- 1 Introducción
- 2 Modelo IEEE 802**
- 3 Direcciones MAC Ethernet
- 4 Ethernet
- 5 Conmutación de etiquetas multiprotocolo
- 6 Redes inarámicas
- 7 Redes ATM
- 8 Exemplo completo

# Modelo IEEE 802

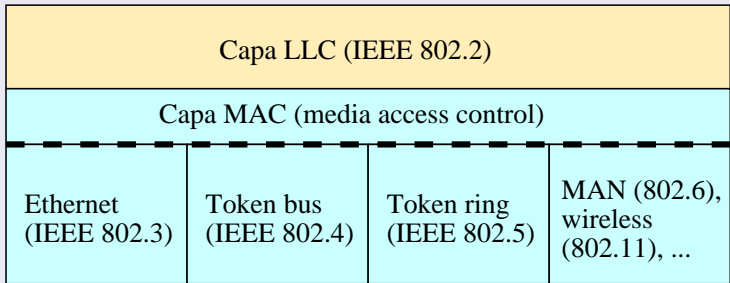
## Modelo IEEE 802

- Principais tipos de LANs definidas polo modelo IEEE 802
  - LANs de difusión: traballan a nivel de capa de enlace
- Establece un modelo para a capa de enlace en LANs
- Capa de enlace dividida en 2 subcapas:
  - Control de enlace lóxico (LLC, *Logical Link Control*)
  - Control de acceso ao medio (MAC, *Media Access Control*)
- División en dúas subcapas:
  - A lóxica necesaria para a xestión de acceso a un medio compartido non está na capa de enlace de datos tradicional
  - Pódense ofrecer varias opcións MAC para o mesmo LLC

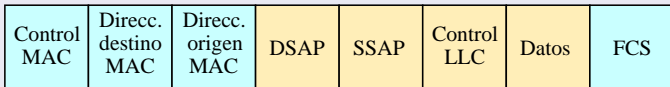


# Modelo IEEE 802

## Capa de enlace



## Capa de enlace en LAN



## Formato de trama

# Capa LLC

## Capa LLC

- Interface coas capas superiores
- Control de erros e de fluxo

## Tipos de servizo

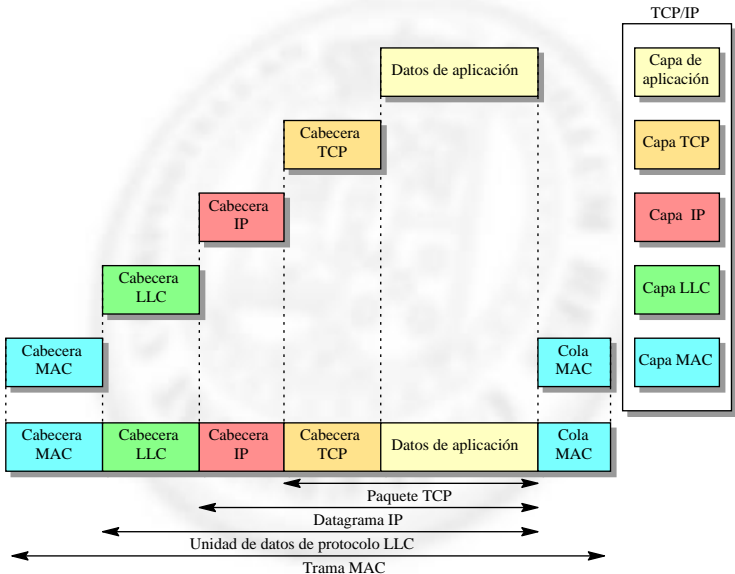
- Sen conexión nen confirmacións
  - Non inclúe mecanismos de control de fluxo nen erros. Non garante a recepción dos datos
  - Control de recepción en capas superiores
- Sen conexión con confirmacións
  - Confirmanse as tramas, pero non hai conexión
- Con conexión e confirmacións
  - Establecese unha conexión lóxica e hai control de fluxo e erros

# Capa MAC

## Capa MAC

- Ensamblaxe de datos en tramas con campos de dirección e de detección de erros
- Desensamblaxe de tramas:
  - Recoñecemento de dirección
  - Detección de erros
- Control de acceso ao medio de transmisión:
  - Non se atopa na capa 2 de control de enlace de datos tradicionais
- Para un mesmo LLC, están dispoñíbeis varios MAC

# Protocolos LAN



# Índice

- 1 Introducción
- 2 Modelo IEEE 802
- 3 Direcciones MAC Ethernet**
- 4 Ethernet
- 5 Conmutación de etiquetas multiprotocolo
- 6 Redes inarámicas
- 7 Redes ATM
- 8 Exemplo completo

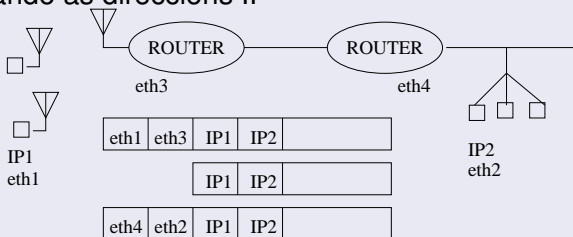
# Direccions MAC

## Direccions dos adaptadores

- A arquitectura TCP/IP considera dúas direccións:
  - Unha dirección MAC, que ten sentido no enlace ou LAN
  - Unha dirección IP, que ten sentido na Internet

## Direccions MAC

- Na LAN, os adaptadores usan as direccións MAC
- Fora da LAN, eliminanse as cabeceiras MAC e o paquete viaxa usando as direccións IP



# Direccións MAC

## Direccións Ethernet

- Tódolos nodos Ethernet (802.3) teñen unha dirección única que os identifica (dir. MAC, ou *MAC address*)
- A dirección a proporciona o adaptador Ethernet o soe estar fixada nunha memoria ROM
- As direccións constan de 6 bytes, expresados en hexadecimal: 00:08:74:4A:BA:4B
- Para asegurar que non se repitan direccións cada fabricante ten un código único para o comezo da dirección, **exemplos:**

08:00:20	→	Sun
08:00:5A	→	IBM
00:20:18	→	Realtek
00:80:9F	→	Alcatel

# Direccións MAC

## Direccións Ethernet especiais

- Dúas direccións Ethernet especiais:
  - *Broadcast*: tódolos bits a 1 (`FF:FF:FF:FF:FF:FF`), trama dirixida a tódolos nodos da rede
  - *Multicast*: bit menos significativo do primeiro byte a 1, trama dirixida a un grupo de nodos da rede
- Un nodo acepta tódalas tramas nas que a dirección destino sexa:
  - A súa propia dirección Ethernet (*unicast*)
  - Tódolos bits a 1 (*broadcast*)
  - O LSB do primeiro byte a 1 (*multicast*)
  - Calquer valor se está en modo promiscuo (ex. `ifconfig eth0 promisc`)



# Direccións MAC

## ARP (*Address Resolution Protocol*)

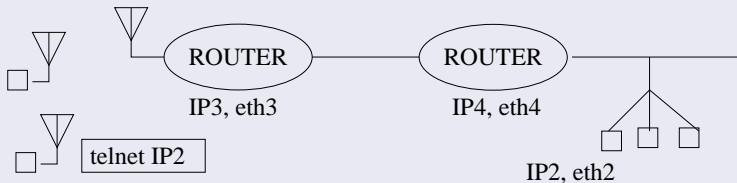
- As tarxetas de rede manexan direccións MAC
- O software dos nodos traballa con direccións IP

⇒ necesítase obter direccións MAC a partires das IPs

- O Protocolo ARP mantén unha táboa (caché ARP) con correspondencias direccións IP/direccións MAC
- Cando ARP recibe unha IP, buscaa na táboa
  - Se a atopa, devolve a MAC correspondente
  - Se non está na táboa
    - ARP emite unha trama broadcast indicando esa IP
    - O adaptador ao que corresponda esa IP responde coa súa dirección MAC
    - A resposta almacenase na cache do peticionario
    - Procedese ao envío da trama
- As entradas elimínanse aos 15 minutos

# ARP

## Exemplo



IP1, eth1

- 1) Se consulta en la tabla de rutas la gateway
- 2) Se pregunta la Ethernet de IP3 (si no esta en la tabla ARP) Se anade a la tabla ARP
- 3) Se hace la transmision

eth1	eth3	IP1	IP2	
------	------	-----	-----	--

tabla rutas del host IP1

destino	gateway
default	IP3

consulta:

ARP	?IP3?	
-----	-------	--

respuesta:

ARP	IP3	eth3
-----	-----	------

tabla ARP

IP	Ethernet	Tiempo
IP3	eth3	9:40

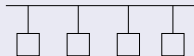
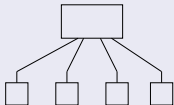
# Índice

- 1 Introducción
- 2 Modelo IEEE 802
- 3 Direcciones MAC Ethernet
- 4 Ethernet**
- 5 Conmutación de etiquetas multiprotocolo
- 6 Redes inarámicas
- 7 Redes ATM
- 8 Exemplo completo

# Ethernet

## Características

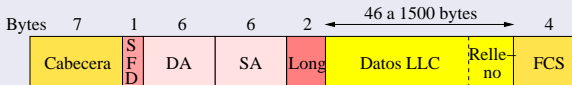
- A rede Ethernet é o tipo de LAN máis sinxela e máis común
- Servizo non fiábel
- Rede de difusión
  - Topoloxía bus: cable coaxial ponte a tódolos adaptadores. Obsoleta
  - Topoloxía estrela: par trenzado conecta cada adaptador co centro



- O protocolo Ethernet funciona sobre cable coaxial, par trenzado e fibra óptica
- Moitas velocidades: 10 Mbps, 100 Mbps, 1 e 10 Gbps

# Trama MAC Ethernet

## Formato



SFD = Delimitador de comienzo de trama (Start of Frame Delimiter)

DA = Dirección destino (Destination Address)

SA = Dirección origen (Source Address)

- Cabeceira: 7 bytes 10101010 cada un, sincronización
- SFD: byte 10101011, indica o comenzo real da trama
- Lonxitude do campo de datos (2 bytes)
  - En Ethernet DIX, campo de *Tipo*, indica o protocolo de rede usado (IP ou ARP)
- Recheo: para que a trama teña un tamaño mínimo
  - Tamaño mínimo (sen cabeceira nen SFD): 64 bytes = 512 bits
  - Tamaño máximo: 1518 bytes = 12144 bits
- FCS (*Frame Check Sequence*): código CRC de 4 bytes

# Ethernet

## Control de acceso ao medio

- Rede de difusión  $\Rightarrow$  protocolo MAC para decidir quen transmite
- Ethernet usa CSMA/CD, acceso múltiple por detección de portadora con detección de colisión
- Para recibir: todos os adaptadores escoitan continuamente o cable
- Para transmitir:
  - O adaptador escoita o medio
    - Se está libre transmite
    - Se está ocupado, espera ata que quede libre + un pequeno intervalo de seguridade
- Pódense producir colisións
- Colisión: no medio coinciden dúas sinais de datos

# Ethernet

## Detección de colisións

- O nodo emisor escoita o cable mentras transmite
  - Tempo de vulnerabilidade: un nodo ocupa o medio e a súa transmisión tarda un tempo en alcanzar outros nodos
  - Durante ese tempo, outros nodos ven o medio libre  $\Rightarrow$  poden transmitir
  - Os datos no medio aléranse  $\Rightarrow$  erro
  - Condición:  $t_{\text{trama}} > 2t_{\text{prop}}$ . Implica un tamaño de trama mínimo ou unha lonxitude de enlace máxima

## Resposta ás colisións

- Cando un nodo detecta unha colisión
  - Acaba de transmiti-la cabeceira da trama
  - Emite unha secuencia de 32 bits (*jamming sequence*)
  - Detén a transmisión
  - Usa o algoritmo de espera exponencial binaria

# Ethernet

## Espera exponencial binaria (*exponential backoff*)

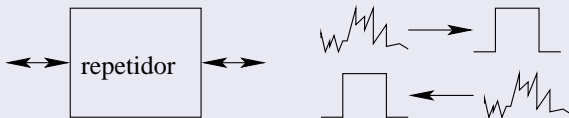
- Divide o tempo en ranuras discretas de lonxitude  
 $T = 2t_{\text{prop\_max}}$ 
  - $T = 51,2 \mu s$  a 10 Mbps, é dicir, 512 periodos de bit
- As estacións esperan un tempo 0 ou  $T$  antes de volver a intenta-la transmisión
- Se se detecta unha nova colisión, selecciona aleatoriamente entre 0,  $T$ ,  $2T$  ou  $3T$
- En xeral, o iempo de espera elixese aleatoriamente entre 0 e  $(2^n - 1)T$ ,  $n = 1, 2, \dots, 10$
- A partires de 10 colisións, escollese entre 0 e  $1023T$
- Despois de 16 colisións seguidas, o controlador desiste e informa do fallo
- Capas superiores encárganse de recuperar o fallo



# Tecnoloxías Ethernet

## Repetidores

- Dispositivo de capa 1 (física) que traballa sobre bits individuais
- Ten dous ou máis interfaces
- Copia bits que chegan por unha interface no resto das interfaces (excepto por onde chegou)
  - Reconstrúe o pulso de tensión

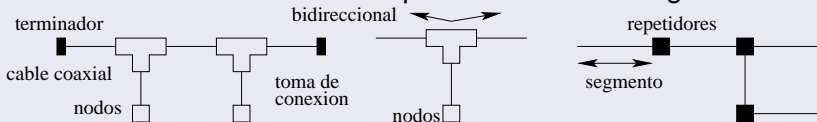


- Para transmisións a longas distancias

# Tecnologías Ethernet

## Topología bus (obsoleta)

- Bus de cable coaxial usando conectores T
- Terminadores nos extremos
- Non se permite máis de 4 repetidores
- Limitase o número de adaptadores en cada segmento



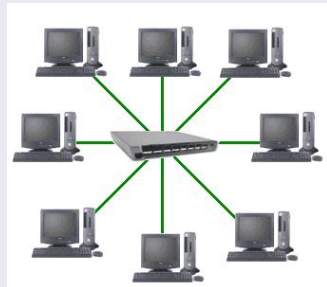
- Nomenclatura: <Mbps><transmisión><centenas m>.  
Ejemplos:

- *10base2*: 10 Mbps, banda de base e segmento de 200 m
- *10base5*: 10 Mbps, banda de base e segmento de 500 m
- *10broad36*: 10 Mbps, banda ancha con modulación e segmento de 3600 m

# Tecnologías Ethernet

## Topoloxía estrela

- Estrela cun centro (hub ou conmutador) con par trenzado ou fibra óptica
- Cada nodo usa un par trenzado ou fibra de entrada e outra de saída (en 10 e 100 Mbps)
- Distancia limitada, 100 m no caso de par trenzado
- A partires de 1000 Mbps usanse 4 pares trenzados
- Funcionamiento do protocolo equivalente ao dun bus
- Nomenclatura: T par trenzado e F, S, L e E fibra óptica



# Tecnologías Ethernet

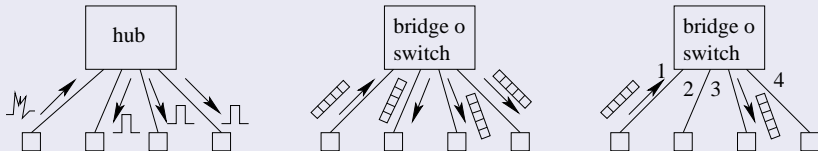
## Topoloxía estrela: exemplos

- *10base-T*: 10 Mbps, banda de base e lonxitude de 100 m
- *100base-TX* (Fast Ethernet de par trenzado): 100 Mbps, banda de base e lonxitude de 100 m
- *100base-FX* (Fast Ethernet de fibra óptica): 100 Mbps, banda de base e lonxitude de 400 m
- *1000base-T* (Gigabit Ethernet de par trenzado)
- *1000base-SX* e *1000base-LX* (Gigabit Ethernet de fibra óptica)
- *10Gbase-S*, *10Gbase-L* y *10Gbase-E* (10 Gigabit Ethernet de fibra óptica)

# Ethernet

## Hubs (concentradores)

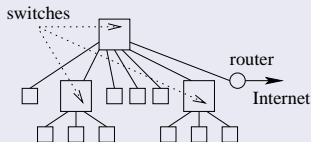
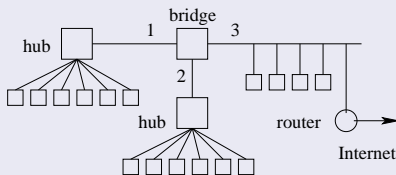
- Dispositivos de capa 1 (capa física) que trabajan a nivel de bits individuais
- Hoxe en día están obsoletos
- Difunden os bits: rexeneran o bit e o envía por tódalas interfaces excepto pola que chegou
- Se chegan á vez por distintos interfaces, o hub informa aos adaptadores de que houbo colisión



# Ethernet

## Bridges (pontes) e switches (conmutadores)

- Dispositivos de capa 2 que traballan a nivel de tramas Ethernet
  - Procesan os distintos campos das tramas Ethernet, extraen a dirección destino, determinan se teñen erros usando o CRC, etc.
- Dispoñen de colas nas interfaces de saída
- As pontes teñen poucas interfaces e os conmutadores decenas
- Os switches deixaron obsoletos ás pontes



# Conmutadores e pontes Ethernet

## Autoaprendizaxe

- Aprenden a localización dos adaptadores
  - Táboa de reenvío: entradas para algúns adaptadores
    - Dirección Ethernet, Interface, Instante de creación
- 1 Ao principio, a táboa está baleira. Utilizan difusión
  - 2 Aprendizaxe cara atrás: examinan as tramas que chegan
    - A interface de chegada indica a localización do adaptador
    - A dirección orixe indica a identidade do adaptador

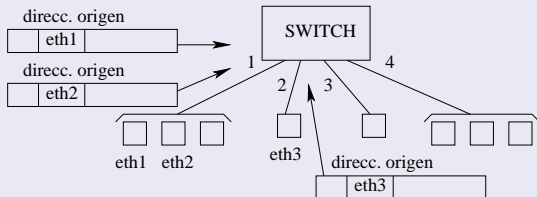


tabla del switch		
host	interf.	tiempo
eth1	1	9:20
eth2	1	9:30
eth3	2	9:55

- 3 Elimínanse as entradas de máis duns minutos

# Conmutadores e pontes Ethernet

## Aillamento do tráfico e filtrado

- Adaptador destino na táboa  $\Rightarrow$  reenvían as tramas so pola interface indicada
- O resto dos adaptadores non verán esa transmisión  $\Rightarrow$  tráfico aillado  $\Rightarrow$  evita colisións
- Interface orixe coincide co destino  $\Rightarrow$  o conmutador descarta a trama  $\Rightarrow$  filtrado

## Tasa de transmisión agregada

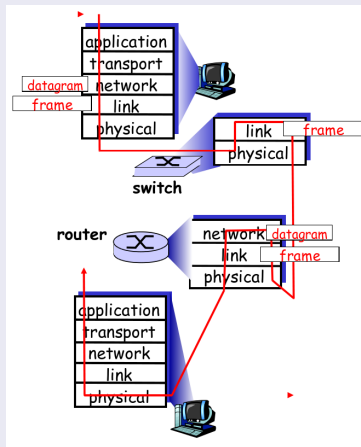
- Múltiples transmisións simultáneas, sempre que as interfaces orixe e destino sexan distintas
- Moitas interfaces  $\Rightarrow$  tasa de transmisión agregada elevada  $\Rightarrow$  deseño de prestacións elevadas



# Conmutadores Ethernet frente a routers

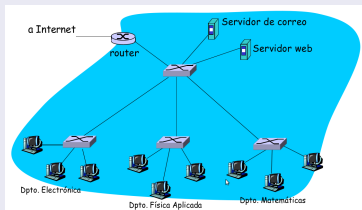
## Conmutadores e routers

- Ambos son dispositivos de almacenamiento e reenvío
- Conmutadores:
  - Trabajan con cabeceiras Ethernet (capa de enlace)
  - Mantienen as táboas de conmutación, implementan filtrado e algoritmos de aprendizaxe
- Routers:
  - Trabajan con cabeceiras IP (capa de rede)
  - Mantienen as táboas de rutas, implementan algoritmos de encamiñamento



# Conmutadores Ethernet

## Exemplo de rede institucional



- Inconvintes:

- Se un usuario cambiase físicamente de dpto. e desexa seguir conectado ao anterior
- Dominio de broadcast único
  - Tramas de mensaxes ARP ou DHCP
- Uso ineficiente dos conmutadores: cada un so usa uns poucos portos

## Redes de área local virtuais, VLANs

- Pódense abordar eses problemas cun conmutador compatible con VLANs, que soporte o estándar IEEE 802.1Q (engádense uns campos na cabeceira)

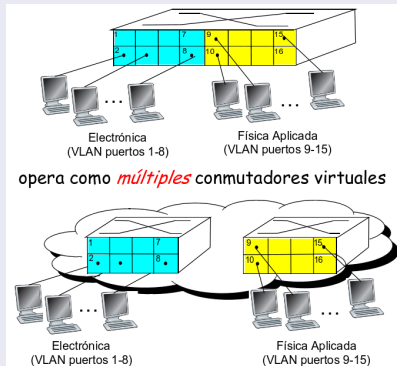
# VLANs

## VLANs

- Os conmutadores que soportan VLAN permiten definir múltiples LANs *virtuais* sobre unha única rede física

## VLANs baseadas en portos

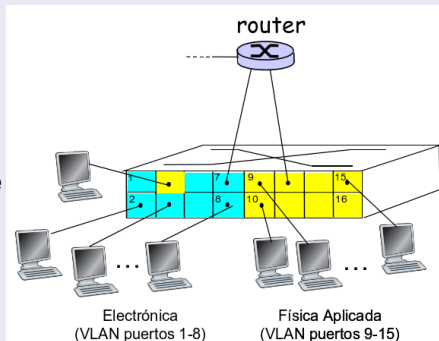
- Dividense os portos do conmutador en grupos
- Cada grupo unha VLAN
  - Mantense unha táboa portos - VLAN
  - So se entregan tramas entre portos da mesma VLAN
- Calquer cambio ⇒ reconfiguración software



# VLANs

## VLANs baseadas en portos

- Aillamento do tráfico
  - So se entregan tramas entre portos da mesma VLAN
  - Pódense definir VLANs por MAC
- Pertenza dinámica
  - Asignación dinámica de portos a VLANs
- Reenvío entre VLANs mediante encamiñamento
  - Na práctica, combínanse routers e switches



# Índice

- 1 Introducción
- 2 Modelo IEEE 802
- 3 Direcciones MAC Ethernet
- 4 Ethernet
- 5 Conmutación de etiquetas multiprotocolo**
- 6 Redes inarámicas
- 7 Redes ATM
- 8 Exemplo completo

# MPLS: Conmutación de etiquetas multiprotocolo

## Rede de circuitos virtuais

- Punto de vista pedagógico: capa de rede ou de enlace
  - Formatos de paquete e comportamento de reenvío propios
- Punto de vista de Internet: capa de enlace
  - Serve para interconectar dispositivos IP

## Obxetivos

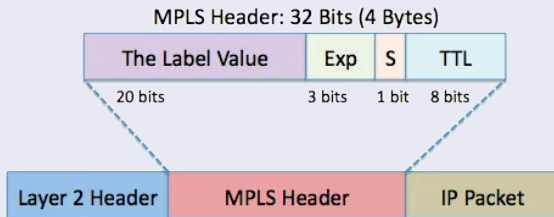
- Expandir a infraestrutura existente
    - Etiquetando selectivamente datagramas
    - Permitir aos routers o reenvío destes datagramas en base a etiquetas de lonxitude fixa
- ⇒ Mezclar técnicas de circuitos virtuais e datagramas

## Funciona conxuntamente con IP

- Usan o direccionamento e o encamiñamento IP

# MPLS: Conmutación de etiquetas multiprotocolo

## Cabeceiras MPLS (RFC 3032)



- Exp: bits experimentáis, relacionados coa QoS
- S: *stack*, vale 1 se é a derradeira etiqueta da xerarquía

## Routers de conmutación de etiquetas

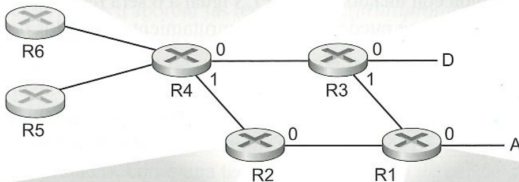
- Routers compatibles con MPLS
  - Reenvían tramas buscando etiquetas MPLS na súa táboa
  - Non necesitan IP destino

# MPLS: Reenvío mediante MPLS

- R1, R2, R3 y R4 son routers de conmutación de etiquetas

Etiqu. entrada	Etiqu. salida	Destino	Interfaz de salida
	10	A	0
	12	D	0
	8	A	1

Etiqu. entrada	Etiqu. salida	Destino	Interfaz de salida
10	6	A	1
12	9	D	0



Etiqu. entrada	Etiqu. salida	Destino	Interfaz de salida
8	6	A	0

Etiqu. entrada	Etiqu. salida	Destino	Interfaz de salida
6	—	A	0



# MPLS: Conmutación de etiquetas multiprotocolo

## Cálculo de rutas entre routers compatibles con MPLS

- Extensión de algoritmos como OSPF
- Algoritmos específicos de cada fabricante

## Uso de MPLS

- Enxenaaría de tráfico
  - Anular IP normal e dirixir o tráfico
- Establecer VPNs
- Aillar recursos

# Índice

- 1 Introducción
- 2 Modelo IEEE 802
- 3 Direcciones MAC Ethernet
- 4 Ethernet
- 5 Conmutación de etiquetas multiprotocolo
- 6 Redes inarámicas**
- 7 Redes ATM
- 8 Exemplo completo

# Redes inarámicas (WLAN, *Wireless LAN*)

## Especificación IEEE 802.11

- 11b (en 2.4 GHz, DSSS, ata 11 Mbps)
  - Interferencias, velocidade baixa
  - Menor absorción, maior alcance (120–460 m exterior, 30–90 m interior)
- 11a (en 5 GHz, OFDM, ata 54 Mbps)
  - Menos interferencias, pero maior absorción e menor alcance (30–300 m exterior, 12–90 m interior)
  - En España, frecuencia reservada para uso militar
- 11g (en 2.4 GHz, OFDM/DSSS, ata 54 Mbps)
  - Mesma velocidade que 11a con maior alcance
  - Coexistencia con 11b (WiFi)
- 11n (bandas 2,4 Ghz y 5 Ghz, ata 600 Mbps teóricos)
  - É actual, en casi tódolos produtos

# Redes inarámicas (WLAN, *Wireless LAN*)

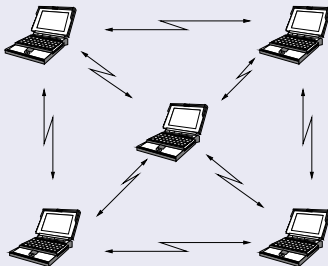
## Especificación IEEE 802.11

- 11ac novo estándar
  - ata 1 Gbps teórico
  - ata 8 fluxos, 6.9 Gbps, nunca chegou a iso (maioría 4)
  - so 5 Ghz, en 2,4 Ghz baixa a 11n
- 11ax, futuro, arraxa problemiñas con 11ac
  - xa usa os 8 fluxos
  - en 2,4 e 5 Ghz

# Configuracións WLAN

## Redes simples (*ad-hoc*)

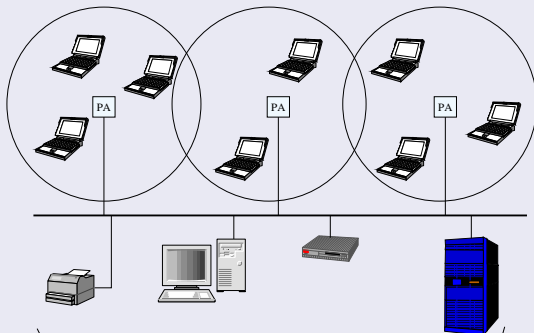
- Conexións de igual a igual
- Permiten comunicar 2 estacións sempre que estean no seu radio de alcance
- Exemplos: mandar pantalla do móbil a TV (!), multixogador con consolas portátiles, radiocontrol de drones ...



# Configuracións WLAN

## Redes distribuidas (*managed*), con estación base central

- LAN troncal cableada (*distribution system*) que conecta os servidores e os puntos de acceso (AP, *access point*)
- Cada AP da servizo a un número de estacións móbiles, distribuíndo o espazo en celas
- Exemplo: uso normal na casa/público con *routers*



# Redes inarámicas

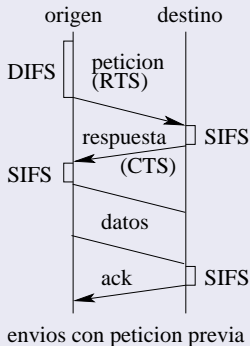
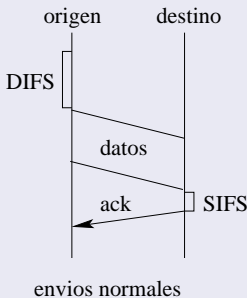
## Protocolo de acceso ao medio

- Protocolo MACA (*Multiple Access with Collision Avoidance*). Tamén denominado CSMA/CA
- Un host que quera transmitir sondea o medio
  - Se está libre, espera un intervalo de seguridade grande (DIFS, *Distributed Inter Frame Space*)
  - Se continúa libre, transmite
  - Se está ocupado, continúa escoitando ata que quede libre. Espera un intervalo e, se segue libre, emite
  - Se segue ocupado, utiliza un algoritmo de espera exponencial binaria
- Non ten detección de colisións. Úsanse os ACKs
  - Entre a recepción da trama e o envío do ACK espérase un intervalo curto (SIFS)
  - Tódolos hosts deben esperar á transmisión do ACK

# Redes inarámicas

## Protocolo de acceso ao medio

- Uso de tramas de control para asegurar a transmisión
  - Envíase primeiro unha trama de petición de envío (RTS)
  - O destino responde cunha trama de reserva do canal (CTS)
  - Os demais hosts deben esperar a que a transmisión se complete





# Índice

- 1 Introducción
- 2 Modelo IEEE 802
- 3 Direcciones MAC Ethernet
- 4 Ethernet
- 5 Conmutación de etiquetas multiprotocolo
- 6 Redes inarámicas
- 7 Redes ATM**
- 8 Exemplo completo

# Redes ATM

## Modo de transferencia asíncrono

- Tipo de rede coa que traballaban (traballan) as compañías telefónicas
- Diseñada para operar a alta velocidade
  - Poden transmitir datos, voz e vídeo
  - Os conmutadores poden operar a velocidades de terabits por segundo
- O modelo ATM cubre as tres capas inferiores
  - Capa física, de enlace e de rede
- Intégrase na arquitectura TCP/IP
- Usabase en redes telefónicas e nas troncais de Internet

# Redes ATM

## Tipos de servizo

- CBR (*Constant Bit Rate*)
  - Reservase e garantíase unha certa taxa de transmisión
  - Os retardos e as perdas baixo certos límites garantidos
  - Adecuado para transmitir audio e vídeo
- ABR (*Available Bit Rate*)
  - A taxa de transmisión varía en función dos recursos dispoñíbeis, malia que se garante un mínimo
  - Non se garante un mínimo nas perdas ou o retardo
- UBR (*Unspecified Bit Rate*)
  - So se transmiten paquetes cando o resto dos servizos da rede deixan recursos
- VBR (*Variable Bit Rate*) para aplicacións en tempo real (VBR-rt) o non en tempo real (VBR-nrt)

# Redes ATM

## Características

- Paquetes moi pequenos e sinxeiros (celas), para garanti-la súa conmutación a altas velocidades
  - 53 bytes: 5 bytes de cabeceira e 48 de datos
- Rede de circuitos virtuais (canles virtuais) orientada a conexión
  - Antes da transmisión, hai unha solicitude de conexión
  - Planifícase a ruta
  - As celas levan o número de canle virtual
    - O conmutador ATM consulta na táboa de canles virtuais e selecciona a liña de saída
    - Tódalas celas seguen o mesmo camiño ⇒ chegan en orden
  - Ao finalizar, hai unha fase de desconexión na que se eliminan as canles virtuais
- Non hai ACKs nen retransmisións, pero as celas teñen control de erros da cabeceira

# Redes ATM

## Modelo de capas en ATM

- ATM pode funcionar sobre calquer capa física
- A capa de adaptación a ATM (AAL) permite que outros protocolos usen a rede ATM

aplicacion

transporte

red

enlace  
y física

ftp, telnet

TCP/UDP

IP

adaptacion ATM

ATM

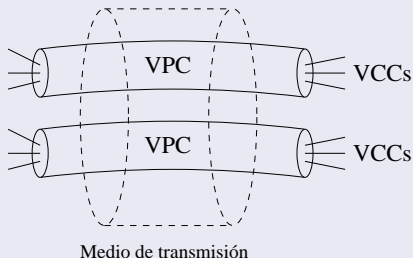
física

- Diferentes AAL dependendo do tipo de servizo
  - TCP/IP: á entrada da ATM fragmentanse os datagramas para que quepan nas celas e reensamblanse á saída
  - Audio e vídeo: agrúpanse os datos ata recher unha cela

# Redes ATM


## Identificador de circuito virtual

- Define dous niveles de conexión:
  - VCC (*Virtual Channel Connection*): Canle Virtual
    - É un circuito virtual
  - VPC (*Virtual Path Connection*): Camiño Virtual
    - Conxunto de VCCs coos mesmos extremos
    - Facilitan a xestión dos VCCs



# Redes ATM

## Estrutura das celas

4	8	16	3	1	8	384 (48 bytes)
GFC	VPI	VCI	Tipo	CLP	HEC (CRC-8)	Carga útil 

- Dous formatos: interface usuario-rede e interface rede-rede
- Control de fluxo xenérico: para a QoS
  - So na interface usuario-rede
- Identificador de canle virtual, VPI e VCI
- Tipo de carga útil
  - Se a cela é de datos ou de control
  - Tamén indica se se detecta conxestión
- Bit de prioridade da cela, CLP
- Byte de control de erro da cabeceira

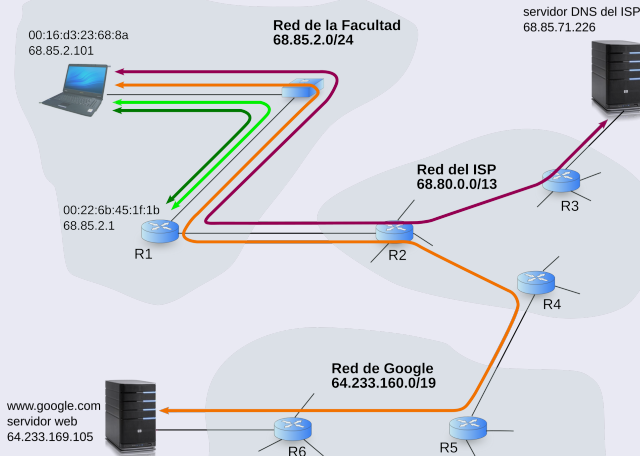
# Índice

- 1 Introducción
- 2 Modelo IEEE 802
- 3 Direcciones MAC Ethernet
- 4 Ethernet
- 5 Conmutación de etiquetas multiprotocolo
- 6 Redes inarámicas
- 7 Redes ATM
- 8 Exemplo completo**



# Exemplo completo: acceso a unha páxina web

## Esquema da rede



# Acceso a unha páxina web

## Inicio: obtención de IP,...

- Mensaxe de solicitude DHCP
  - Nun segmento UDP, porto destino 67, porto orixe 68
  - Nun datagrama IP, IP destino 255.255.255.255, IP orixe 0.0.0.0
  - Nunha trama Ethernet, MAC destino ff:ff:ff:ff:ff:ff, MAC orixe 00:16:d3:23:68:8a (P)
    - 1ª trama que emite o portátil ao conmutador Ethernet, que a reenvía por tódolos seus portos
  - O router R1 (servidor de DHCP) recibe a trama, extrae o datagrama con IP destino a de broadcast e pasasella ás capas superiores (demultiplexase, extraese o segmento UDP e obtense a mensaxe DHCP)

# Acceso a unha páxina web

## Inicio: obtención de IP,...

- O servidor DHCP crea unha mensaxe ACK DHCP coa IP asignada, a do DNS, a da porta de enlace por defecto e a máscara
  - Nun segmento UDP, nun datagrama IP
  - Nunha trama Ethernet, MAC destino 00:16:d3:23:68:8a (P), MAC orixe 00:22:6b:45:1f:1b (R1)
    - Envíase ao conmutador Ethernet, que xa sabe cómo reenvía-la ao portátil
  - O portátil recibe a trama, extrae o datagrama, extrae o segmento UDP e obtén a mensaxe ACK DHCP

# Acceso a unha páxina web

## Inicio: DNS, ARP

- O portátil intenta crear o socket TCP para a solicitude HTTP, pero necesita a IP
- Mensaxe de consulta de DNS “www.google.com”
  - Nun segmento UDP, porto destino 53
  - Nun datagrama IP, IP destino 68.87.71.226 (DNS), IP orixe 68.85.2.101 (P)
  - Nunha trama Ethernet ao router, MAC destino ? ⇒ ARP
- Consulta ARP coa IP do router por defecto (68.85.2.1)
  - Nunha trama Ethernet con MAC destino ff:ff:ff:ff:ff:ff, que o conmutador entrega a todos
  - O router R1 recibe a trama coa petición ARP coa súa propia IP

# Acceso a unha páxina web

## Inicio: DNS, ARP

- O router R1 prepara a resposta ARP: a IP 68.85.2.1 correspondese coa MAC 00:22:6b:45:1f:1b
  - Nunha trama Ethernet con MAC destino 00:16:d3:23:68:8a (o portátil)
  - O portátil recibe a trama e obtén a MAC do router por defecto
- O portátil completa a trama coa mensaxe de consulta de DNS
  - Nun segmento UDP, porto destino 53
  - Nun datagrama IP, IP destino 68.87.71.226 (DNS), IP orixe 68.85.2.101 (P)
  - Nunha trama Ethernet con MAC destino 00:22:6b:45:1f:1b (R1)

# Acceso a unha páxina web

## Inicio: DNS

- O router R1 recibe a trama e extrae o datagrama coa consulta DNS con destino 68.87.71.226 e determina segundo a súa táboa que debe reenvia-lo ao router R2 da rede do ISP
  - Nunha trama de capa de enlace segundo o tipo de enlace existente entre eses dous routers
- R2 recibe a trama e extrae o datagrama con IP destino 68.87.71.226 e determina a interface pola que debe reenvia-lo
  - Esta táboa encheuse co protocolo intradominio do ISP (RIP, OSPF) e con BGP
- O datagrama coa consulta ao DNS chega ao servidor DNS
  - Extrae a consulta e busca [www.google.com](http://www.google.com) na súa base de datos
  - atopa o rexistro que contén ([www.google.com](http://www.google.com),

# Acceso a unha páxina web

## Inicio: DNS

- O servidor xera unha mensaxe coa correspondencia obtida
  - Nun segmento UDP, que inserta nun datagrama con destino o portátil (68.85.2.101)
  - Este datagrama reenvíase a través da rede do ISP ata o router R1
  - Desde R1 reenvíase ao portátil a través do conmutador Ethernet
  - O portátil extrae a dirección IP de [www.google.com](http://www.google.com)

# Acceso a unha páxina web

## Interacción cliente servidor: TCP e HTTP

- O portátil pode crear o socket TCP que usará para a mensaxe `GET` de HTTP
- Un segmento TCP `SYN` con porto destino 80 (acordo en 3 fases)
  - Nun datagrama con destino `www.google.com` (`64.233.169.105`)
  - Nunha trama Ethernet con MAC destino `00:22:6b:45:1f:1b` (R1, router por defecto) ao conmutador
- Os routers R1, os do ISP e os de Google reenvían o datagrama



# Acceso a unha páxina web

## Interacción cliente servidor: TCP e HTTP

- O host `www.google.com` recibe o datagrama co segmento TCP `SYN`
  - Extraese o segmento TCP `SYN`
  - Demultiplexase e entregase ao socket de acollida no porto 80
  - Crease o socket de conexión TCP entre o servidor HTTP de Google e o portátil
  - Xerase un segmento TCP `SYNACK`
    - Nun datagrama con IP destino a da portátil
    - Nunha trama de enlace según a conexión de `www.google.com` co seu router de primeiro salto
  - O datagrama co segmento `SYNACK` envíase a través das redes e recibese na tarxeta Ethernet do portátil
    - Extraese o datagrama, o segmento TCP e demultiplexase ao socket creado para iniciar a conexión

# Acceso a unha páxina web

## Interacción cliente servidor: TCP e HTTP

- O navegador do portátil xera a mensaxe HTTP `GET` co URL que desexa (`index.html`)
  - Esta mensaxe escríbese no socket, é dicir, pasa a ser a carga útil dun segmento TCP
  - O segmento inclúese nun datagrama
  - Entregase a `www.google.com`
- O servidor HTTP en `www.google.com` le a mensaxe HTTP `GET` do socket de conexión
- Crea unha mensaxe HTTP de resposta, insertando a páxina web solicitada (`index.html`) no corpo da mensaxe y a envía a través do socket
- O datagrama coa resposta envíase ao portátil
- O navegador le a resposta do socket, extrae o código HTML da páxina e a mostra