Conceptos de Interconexión de Redes

Introducción a TCP/IP

Carlos Vicente
cvicente@ns.uoregon.edu

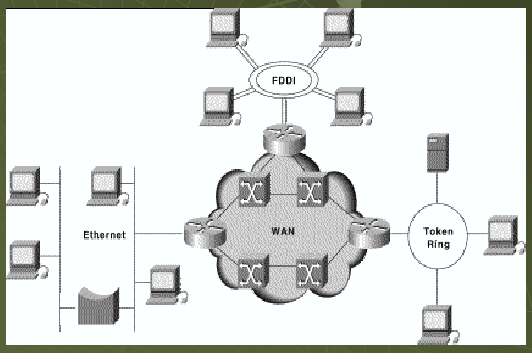
Inter-redes

- Un poco de historia

- Mainframes y terminales
- PCs y redes locales
- Redes de área extendida (X.25, ISDN, FR…)
- Problema: Cada vez más, todas diferentes e incompatibles

Inter-redes

- ¿Cómo interconectarlas?



Inter-redes

- Se necesita una red más abstracta, a nivel superior, que esconda los detalles y diferencias de las diferentes redes físicas
- DARPA ya estaba trabajando en esto desde mediados de los 70!
- ARPANET: Una de las primeras redes de conmutación de paquetes
- ARPANET -> Universidades -> Industria
  - Se incluye IP en BSD unix
  - Primeros ISPs
- +230 Millones de máquinas conectadas (Enero 2004)
  - Ver: http://www.isc.org/index.pl?/ops/ds/
- ¿Qué pasó?

Diseño

- Muchos problemas que resolver:
  - Tecnologías cerradas y dispares
  - Pérdida de información
  - Control de flujo y congestión
  - Múltiples aplicaciones, un solo canal
  - Diferentes requerimientos de servicio
- Ley básica de ingeniería: Divide y vencerás
  - Dividir los problemas en grupos lógicos y jerárquicos
  - Esconder la complejidad, desacoplar
  - Facilitar la programación, prueba y mantenimiento

Conceptos previos

- Servicios y redes orientados a conexión
  - Proveen garantías
    - Se pueden reservar recursos
  - Necesitan interacción entre los nodos
  - Implican un inicio y cierre de sesión
- No orientados a conexión
  - Sin garantías pero pueden ser más eficientes
- Cuando éstos se aplican a redes físicas, se suele hablar de:
  - Conmutación de circuitos (red telefónica)
  - Conmutación de paquetes (Internet)

Tipos de envío

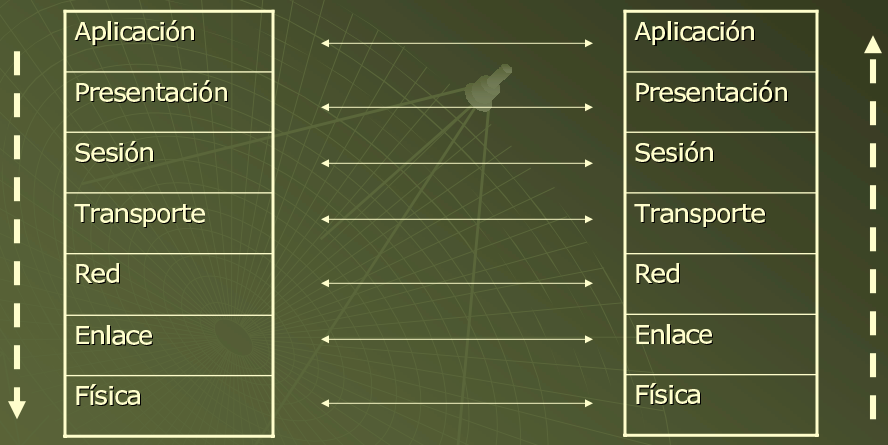
- Unicast
  - Uno a uno
- Broadcast
  - Uno a todos
- Multicast
  - Uno a varios
- Anycast
  - Uno a alguno

Modelo de capas

- Modelo de referencia OSI
  - Sólo un modelo, no una arquitectura de red
  - Cada capa provee un servicio a la capa superior
  - Cada capa dialoga con su homóloga en el dispositivo remoto
  - Un protocolo es la implementación de la lógica de una capa
  - Uno o más protocolos por capa

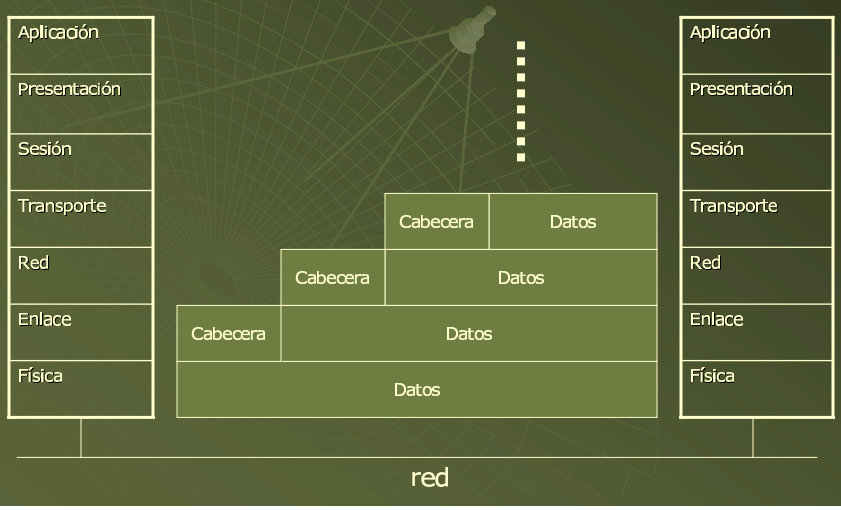
Aplicación
Presentación
Sesión
Transporte
Red
Enlace
Física

Modelo de Capas

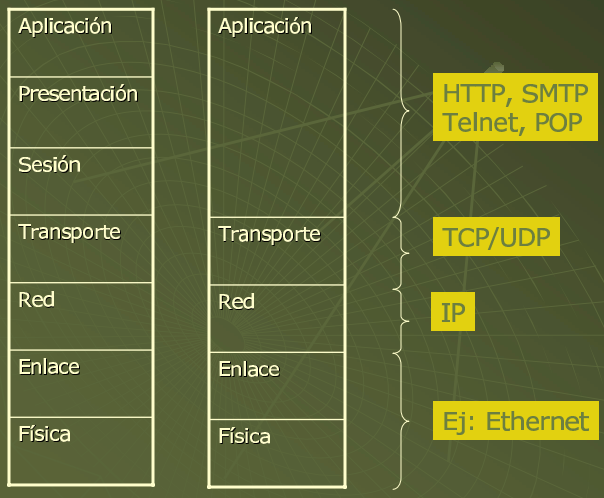


Modelo de Capas

- Encapsulación y cabeceras



OSI vs. TCP/IP



- ARPANET empezó una década antes que OSI
- No necesitaban presentación ni sesión
- Estándar 'de facto'

Capa 1: Física

- Implementada en hardware
- Codificación de canal
  - Representación de bits, voltajes, frecuencias, sincronización
    - Códigos Manchester, AMI, B8ZS...
- Define conectores físicos, distancias, cableado

Capa 2: Enlace

- Encapsula los los paquetes en tramas para pasarlos al medio físico
- Reconstruye las tramas originales a partir de secuencias de bits y pasa los datos a la capa de red
- Provee
  - Direccionamiento (en el segmento de red local)
  - Detección de errores
  - Control de flujo

Capa 3: Red

- Provee una red virtual global
  - Esconde los detalles de las redes físicas
  - Direccionamiento global:
    - Una dirección IP es suficiente para enviar hacia cualquier red en el mundo
    - Implica que hay que mapear las direcciones físicas con las IP
- Ofrece un servicio sin garantías (mejor esfuerzo)
  - Si se pierden o duplican paquetes, no le importa
  - Deja esa función a las capas superiores
- Determina si el destino es local o si lo debe enviar a un enrutador
- Provee funciones de control
  - ICMP
- Reenvía paquetes de salto en salto, de una red a la otra
  - El trayecto completo puede constar de muchos saltos

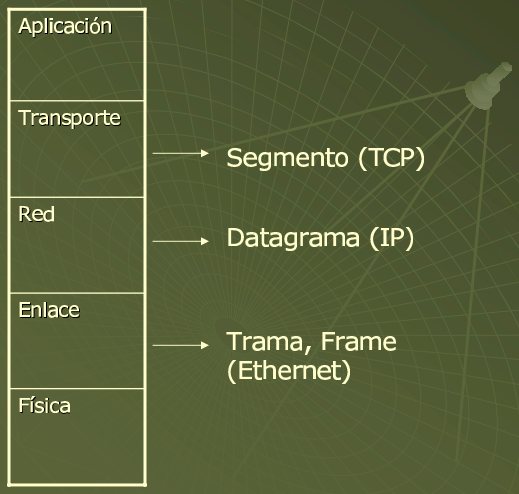
Capa 4: Transporte

- Servicio con garantías (TCP)
  - Resuelve los problemas de:
    - Pérdida de paquetes
    - Duplicación
    - Desbordamiento (control de flujo)
- Sin garantías (UDP)
  - Mucho más simple
  - A veces no hace falta fiabilidad
- Provee multiplexión de aplicaciones
  - Concepto de 'puertos'

Capa 5: Aplicación

- La más cercana al usuario
  - Define las funciones de clientes y servidores
- Utiliza los servicios de transporte
- Ej: HTTP (web), SMTP (mail), Telnet, FTP, DNS…

Terminología



- Nombres diferentes en cada capa
- No se sigue muy estrictamente. Suele hablarse indistintamente de 'paquete' en todas las capas.

Tipos de enlaces

- Difusión (broadcast)
  - Ej: Ethernet
- Punto a punto
  - Ej. PPP, SLIP, HDLC
- NBMA (Non-broadcast Multi-Access)
  - Ej: Frame Relay, ATM

Un vistazo a Ethernet

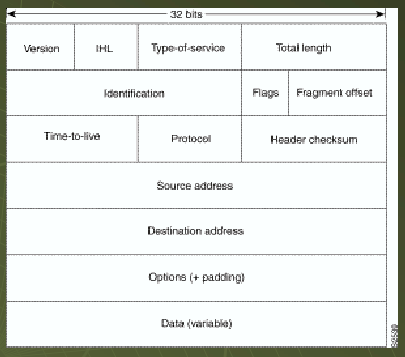
- Una red de difusión (broadcast)
  - Topologías
    - Bus (cable coaxial)
    - Estrella con repetidor
    - Estrella con conmutador
- ¿CSMA/CD?
- Razones para su éxito
  - Simplicidad
  - Costo
- De 10 Mbps a 10 Gbps

Un vistazo a Ethernet

Preámbulo (8 bytes)	Destino (6)	Fuente (6)	Longitud (2)	Tipo (2)	Datos (46-1500)	FCS (4)

- Direcciónes MAC:
  - Únicas y grabadas en el hardware de la tarjeta
    - Por eso también se llaman "direcciones físicas"
  - 6 bytes x 8 bits/byte = 48 bits
  - Suelen escribirse en hexadecimal
    - FE:D2:89:C4:4F:2E
- Tipo: 0x800 especifica que la parte de datos contiene un datagrama IP

El datagrama IP



- Versión actual : 4
- El protocolo se refiere al que está siendo encapsulado (tcp, udp…)
- TTL se decrementa con cada salto
- Hay fragmentación al pasar de un MTU mayor a uno menor

La dirección IP

- Un número de 32 bits (4 bytes)
  - Decimal:

128	223	254	10

  - Binaria:

10000000	11011111	11111110	00001010

  - Hexadecimal:

80	DF	FE	0A

La dirección IP

- Estructura
  - Un sólo número, dos informaciones:
    - Dirección de la red (prefijo)
    - Dirección del nodo dentro de esa red

- ¿Dónde está la división?
  - Al principio era implícito (clases)
  - Luego más flexible (máscaras)

Esquema de clases (Classful)

Clase	Formato	Primeros bits	Rango	Bits por nodo
A	R.N.N.N	0	1.0.0.0 - 126.0.0.0	24
B	R.R.N.N	10	128.1.0.0 - 191.254.0.0	16
C	R.R.R.N	110	192.0.1.0 - 223.255.254.0	8
D	n/a	1110	224.0.0.0 - 239.255.255.255	n/a
E	n/a	1111	240.0.0.0 - 254.255.255.255	n/a

- Los límites red-nodo en la dirección son arbitrarios
- ¿Qué problema podemos prever?

Revisión de base binaria

- En base 10 decimos:
  - 1234 = 1x10^3 + 2x10^2 + 3x10^1 + 4x10^0 = 1000+200+30+4
- De la misma forma, en base 2:
  - 1010 = 1x2^3 + 0x2^2 + 1x2^1 + 0x10^0 = 8+0+2+0 = 10 decimal
- Suma lógica (AND):
  - 1 + 1 = 1
  - 1 + 0 = 0
  - 0 + 1 = 0
  - 0 + 0 = 0

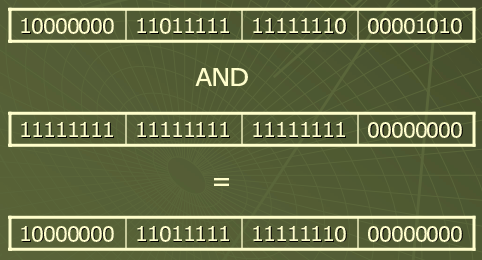
Potencias de 2 en un byte

- Conviene memorizar:

• 2^7 = 128	1000 0000
• 2^6 = 64	0100 0000
• 2^5 = 32	0010 0000
• 2^4 = 16	0001 0000
• 2^3 = 8	0000 1000
• 2^2 = 4	0000 0100
• 2^1 = 2	0000 0010
• 2^0 = 1	0000 0001

Máscaras

- Solución: Otro número que especifique los límites



Con esto se podían subdividir las redes A, B y C en subredes más pequeñas

Notación de prefijo

- La máscara también se puede especificar como la cantidad de bits a 1:
  - 255.255.255.0 tiene 24 bits a 1
- Se agrega a la dirección IP con "/"
  - 128.223.254.10/24
- Hoy día se utilizan indistintamente las dos notaciones

Direcciones especiales

- Todos los bits de nodo a 0: Representa la red
  - 128.223.254.0/24
- Todos los bits a 1: Broadcast local o limitado
  - 255.255.255.255
- Todos los bits de nodo a 1: Broadcast dirigido
  - 128.223.254.255
- Direcciones Loopback:
  - 127.0.0.0/8
    - Casi siempre se usa 127.0.0.1

Más direcciones Especiales

- Direcciones privadas (RFC 1918)
  - 10.0.0.0 - 10.255.255.255 (10/8)
  - 172.16.0.0 - 172.31.255.255 (172.16/12)
  - 192.168.0.0 - 192.168.255.255 (192.168/16)
- ¿Cuál es la necesidad?

Problemas con el esquema de clases

- No muy flexible
- Se perdían dos subredes en cada división
- En los 90's cambió el esquema (Classless):
  - ¡Las viejas clases A, B, C no tienen significado ninguno en el Internet de hoy!
    - CIDR (Classless Interdomain Routing):
      - Los routers ya no consideran A,B,C como /8, /16, /24
    - VLSM (Variable Length Subnet Masks)
      - Los routers no asumen que todas las subredes son del mismo tamaño
- ¿Es 128.223.254.0/24 una clase C?

Subdividiendo una red

- Nos debemos preguntar:
  - Cuántas subredes queremos
  - Cuántos nodos tendrá cada subred
- Calculando en la cabeza
  - Cada bit más de máscara es el doble de subredes y la mitad de nodos (o viceversa)
  - Cada subred se puede sub-dividir a su vez
- Ejercicio:
  - Nos asignan 192.168.1.0/24
  - Tenemos:
    - 1 edificio con 121 nodos
    - 1 edificio con 50 nodos
    - 2 edificios con 25 nodos

Algunos Trucos

- 255.255.255.192
  - A qué prefijo corresponde?
    - 256 – 192 = 64 (hosts/subred)
    - 64 = 2^6
    - Si tengo 6 bits de nodo, quedan 2 de red

      11111111 11111111 11111111 11000000

    - 3 x 8 = 24, +2 = 26
    - Prefijo es /26

Datagrama IP

- Algunos campos interesantes
  - Type of Service (TOS)
    - retardo, fiabilidad, velocidad (voz vs. datos)
  - Identification, Flags, Fragment Offset
  - TTL

Routers

- Dispositivos con interfaces en varias redes físicas
- Una dirección IP (y subred) por cada interfaz
- Deciden el trayecto de los paquetes basados en tablas de encaminamiento

Envío

- En IP, distinguimos entre:
  - Envío directo:
    - La máquina envía a otra que está en su propia red física (Ej: mismo segmento Ethernet)
  - Envío indirecto:
    - El destino del paquete IP está fuera de la red física
      - Requiere la presencia de un router

Envío y Re-envío

- Algoritmo de routing
  - Extraer la dirección IP de destino (D)
  - Si D encaja en alguna de las redes (R_i) físicamente conectadas
    - Enviar directamente a D por la interfaz conectada a esa red
      - (Implica traducir la dirección IP a la física)
  - Sino, si la tabla contiene una ruta específica a D
    - Enviar el paquete al próximo salto especificado en la tabla

Envío y Re-envío

- Algoritmo de Routing (Cont.)
  - Sino, si la tabla contiene una ruta a la red R que contiene a D
    - Enviar el paquete al próximo salto especificado en la tabla
  - Sino, si la tabla contiene una ruta por defecto
    - Enviar el paquete al router por defecto
  - Sino, notificar un error de routing

Routers

- Mecanismo de un router:
  - Recibe un paquete en una interfaz
  - Determina si el paquete está dirigido a él
  - Decrementa el TTL
  - Compara la dirección destino con la tabla de encaminamiento
  - Envía el paquete al router del próximo salto (o a la máquina destino)

Encaminamiento

- Cada decisión es un salto en la dirección de destino
  - El router no puede enviar a otro router que no esté en una de sus propias redes físicas
- Cada router tiene sus propias tablas
- Protocolos de routing: mantener estas tablas al día

Tablas de Encaminamiento

- Se compara la dirección IP destino del paquete con las entradas en la tabla
- Determinar el próximo salto
  - Se asume que está físicamente conectado
- ¿Qué es la regla del *longest match*?

IP	Máscara	Gateway
192.168.5.0	255.255.255.0	192.168.1.1
192.168.5.0	255.255.255.192	192.168.1.2
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.0.1

Tablas de Encaminamiento

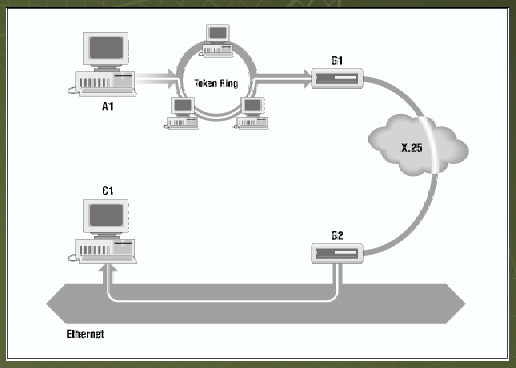
```
# netstat -nr
Kernel IP routing table
Destination     Gateway         Genmask         Flags   MSS Window  irtt Iface
128.223.60.0    0.0.0.0         255.255.254.0   U         0 0          0 eth0
127.0.0.0       0.0.0.0         255.0.0.0       U         0 0          0 lo
0.0.0.0         128.223.60.1    0.0.0.0         UG        0 0          0 eth0
```

Routers y Encapsulación

1. Recibe una trama de capa 2
2. Saca el paquete IP de ella
3. Revisa el contenido del paquete IP
4. Determina la interfaz siguiente
5. Encapsula el paquete dentro de una trama del tipo correspondiente
   - Las redes de entrada y salida pueden ser completamente diferentes:
     - Ejemplos:
       - De Ethernet a PPP
       - De Frame Relay a Ethernet

Fragmentación

- Diferentes MTU en cada salto



Traducción de direcciones

- Problema: Diferentes direcciones en capas de enlace y de red
  - Caso Ethernet:
    - Tengo este paquete IP para reenviar. ¿Qué dirección Ethernet tengo que poner en mi nueva trama?
  - Tres tipos de soluciones:
    - Derivar una de otra con cierta operación matemática
    - Incluir una dentro de la otra
    - Mantener una tabla dinámica

ARP

- Mantiene tablas dinámicas

```
Microsoft Windows XP [Version 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\>arp -a

Interface: 128.223.219.14 --- 0x2
  Internet Address      Physical Address      Type
  128.223.216.1         00-04-75-71-e5-64     dynamic
  128.223.216.24        00-04-23-62-14-4f     dynamic
```

- Las entradas tienen un tiempo de vida limitado (¿Por qué?)
- Mecanismo:
  - A quiere enviar a B
  - Primero busca la IP de B en su tabla
  - Si no la tiene, pregunta
    - A: ¿Quién tiene 192.168.0.1?
  - Envía una trama a toda la red:
    - Utiliza *FF:FF:FF:FF:FF:FF (todos los bits a 1)*
    - Todos reciben la trama. Sólo el B responde

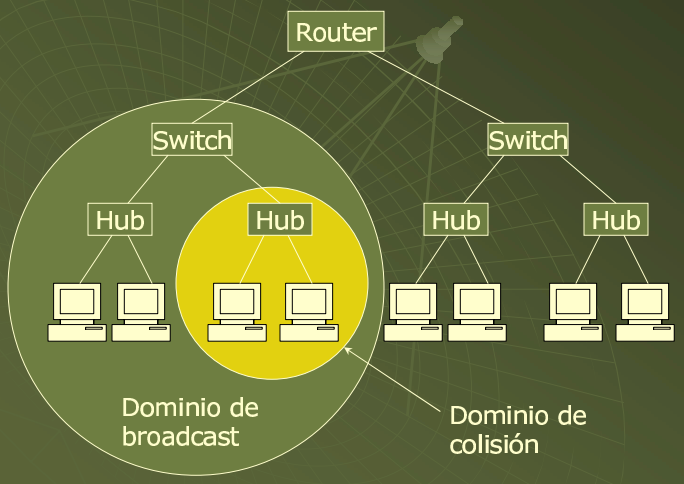
ARP

- Algunas mejoras de eficiencia:
  - A quiere saber la MAC de B
  - B recibe la trama. Toma las direcciones MAC e IP de A y las incluye en su tabla
  - Luego B responde a A
  - Como la petición es broadcast, en principio todos los demás pueden incluir a A en su tabla.
- Pregunta: El paquete ARP viaja dentro de una trama Ethernet o un paquete IP?

Dominios de Tráfico

- Dominio de colisión
- Dominio de broadcast
- Diferencias
  - Switches vs. Hubs
  - Routers vs. switches

Dominios de tráfico



Ventajas de las subredes

- Escalabilidad, eficiencia
  - Reducir los dominios de broadcast
    - Menos uso de CPU
    - Más espacio para tráfico legítimo -> más velocidad
- Facilitar la gestión
    - Ingeniería de tráfico
      - Implementación de políticas
    - Seguridad
      - Filtros de paquetes

UDP

- User Datagram Protocol
  - Multiplexión de aplicaciones
    - Una dirección IP identifica una máquina
    - Los sistemas operativos son multitarea
    - Un puerto para cada servicio
- Servicio no orientado a conexión
  - No ofrece ninguna garantía
    - Sin acuses de recibo
    - Sin re-transmisión
    - Sin control de flujo

UDP

- Formato de UDP

Puerto Origen	Puerto Destino
Longitud	Checksum
Datos	
...	

TCP

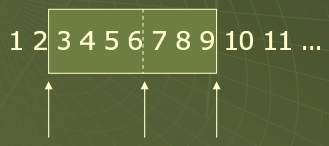
- Transmission Control Protocol
  - Orientado a conexión
    - Hay un acuerdo previo entre origen y destino
    - Hay un diálogo que va ajustando parámetros constantemente
  - Servicios:
    - Fiabilidad
      - Paquetes perdidos, duplicados, desordenados
    - Control de flujo
    - Multiplexión de aplicaciones

TCP: Conceptos

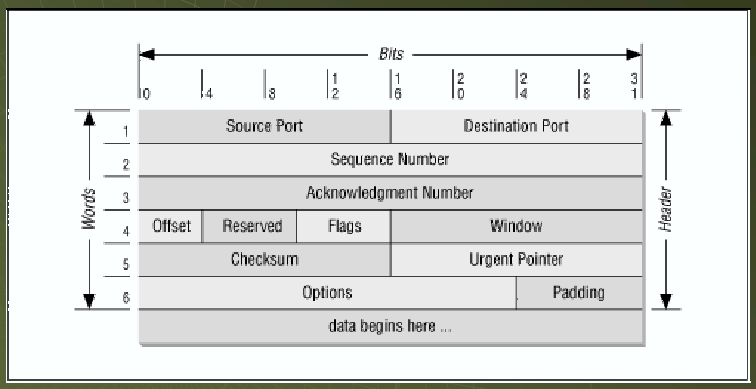
- PAR: Positive Acknowledgment with Retransmission
  - Envío un segmento e inicio un timer
  - Espero una confirmación antes de enviar el siguiente
  - Envío el mismo segmento de nuevo si el tiempo expira sin recibir confirmación
- ¿Segmentos duplicados? ¿Cómo?
  - Un retraso en la red produce una retransmisión y el mismo segmento llega dos veces

TCP: Ventana deslizante

- Esperar confirmación por cada paquete no es muy eficiente
  - Tamaño de ventana = 1
- También resuelve el problema de control de la congestión
  - El tamaño de la ventana se ajusta dinámicamente

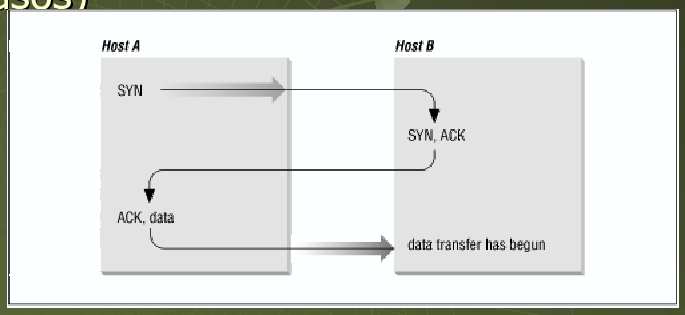


Formato de TCP



TCP: Inicio de Sesión

- Three-way handshake (saludo en tres pasos)



¿TCP o UDP?

- Cuándo tiene sentido uno u otro
  - FTP
  - DNS
  - SNMP
  - Voz sobre IP (H.323, SIP)
  - Multicast

ICMP

- Internet Control Message Protocol
  - Viaja sobre IP, pero no pertenece a la capa de transporte
  - Funciones:
    - Notificar errores
    - Control de Flujo
    - Redirección

ICMP

- Algunos tipos y códigos más usados

Tipo	Código	Descripción
0	0	Echo Reply
3	0	Destination Network unreachable
3	1	Destination Host Unreachable
3	2	Destination Protocol Unreachable
3	3	Destination Port Unreachable
8	0	Echo Request
11	0	TTL expired

ICMP: Aplicaciones

- Ping

```
# ping www.uoregon.edu
PING darkwing.uoregon.edu (128.223.142.13) from 128.223.60.27 : 56(84) bytes of data.
64 bytes from darkwing.uoregon.edu (128.223.142.13): icmp_seq=1 ttl=254 time=0.229 ms
64 bytes from darkwing.uoregon.edu (128.223.142.13): icmp_seq=2 ttl=254 time=0.254 ms
64 bytes from darkwing.uoregon.edu (128.223.142.13): icmp_seq=3 ttl=254 time=0.226 ms
64 bytes from darkwing.uoregon.edu (128.223.142.13): icmp_seq=4 ttl=254 time=0.232 ms
64 bytes from darkwing.uoregon.edu (128.223.142.13): icmp_seq=5 ttl=254 time=0.222 ms
```

ICMP: Aplicaciones

- Traceroute

```
# traceroute www.google.com
traceroute: Warning: www.google.com has multiple addresses; using 66.102.9.99
traceroute to www.google.akadns.net (66.102.9.99), 30 hops max, 38 byte packets
 1  ge-4-6.uonet2-gw.uoregon.edu (128.223.60.3)  0.310 ms  0.236 ms  0.193 ms
 2  0.ge-0-0-0.uonet8-gw.uoregon.edu (128.223.2.8)  0.324 ms  0.331 ms  0.294 ms
 3  eugn-car1-gw.nero.net (207.98.66.11)  0.363 ms  0.296 ms  0.416 ms
 4  eugn-core2-gw.nero.net (207.98.64.169)  0.672 ms  1.029 ms  0.601 ms
 5  ptck-core2-gw.nero.net (207.98.64.2)  2.911 ms  2.994 ms  2.930 ms
 6  ptck-core1-gw.nero.net (207.98.64.137)  3.255 ms  2.874 ms  2.923 ms
 7  so-6-1.hsa2.Seattle1.Level3.net (63.211.200.245)  6.521 ms  6.153 ms  6.322 ms
 8  ge-6-1-1.mp2.Seattle1.Level3.net (209.247.9.85)  6.619 ms  6.565 ms  6.335 ms
 9  so-0-0-0.bbr2.NewYork1.Level3.net (64.159.0.238)  86.194 ms  86.239 ms  86.580 ms
10  so-2-0-0.mp2.London1.Level3.net (212.187.128.154)  147.899 ms  147.968 ms  149.461
    ms
11  so-3-0-0.mp2.Amsterdam1.Level3.net (212.187.128.13)  155.019 ms  155.738 ms
    155.406 ms
12  ge-11-2.ipcolo2.Amsterdam1.Level3.net (213.244.165.116)  157.499 ms  155.627 ms
    155.857 ms
13  212.72.44.66 (212.72.44.66)  156.319 ms  156.168 ms  156.142 ms
```

Traceroute: Funcionamiento

```
# traceroute 128.223.142.13
traceroute to 128.223.142.13 (128.223.142.13), 30 hops max, 38 byte packets
 1  ge-4-6.uonet2-gw.uoregon.edu (128.223.60.3)  0.282 ms  0.206 ms  0.186 ms
 2  darkwing (128.223.142.13)  0.266 ms  0.197 ms  0.209 ms

(simultáneamente)

# tcpdump -lnv host 128.223.142.13 or icmp
tcpdump: listening on eth0
128.223.60.27.33962 > 128.223.142.13.33435: udp 10 [ttl 1] (id 12001, len 38)
128.223.60.3 > 128.223.60.27: icmp: time exceeded in-transit [tos 0xc0]  (ttl 255, id 64235, len 56)
128.223.60.27.33962 > 128.223.142.13.33436: udp 10 [ttl 1] (id 12002, len 38)
128.223.60.3 > 128.223.60.27: icmp: time exceeded in-transit [tos 0xc0]  (ttl 255, id 64236, len 56)
128.223.60.27.33962 > 128.223.142.13.33437: udp 10 [ttl 1] (id 12003, len 38)
128.223.60.3 > 128.223.60.27: icmp: time exceeded in-transit [tos 0xc0]  (ttl 255, id 64237, len 56)
128.223.60.27.33962 > 128.223.142.13.33438: udp 10 (ttl 2, id 12004, len 38)
128.223.142.13 > 128.223.60.27: icmp: 128.223.142.13 udp port 33438 unreachable (DF) (ttl 254, id 14809,
    len 66)
128.223.60.27.33962 > 128.223.142.13.33439: udp 10 (ttl 2, id 12005, len 38)
128.223.142.13 > 128.223.60.27: icmp: 128.223.142.13 udp port 33439 unreachable (DF) (ttl 254, id 14810,
    len 66)
128.223.60.27.33962 > 128.223.142.13.33440: udp 10 (ttl 2, id 12006, len 38)
128.223.142.13 > 128.223.60.27: icmp: 128.223.142.13 udp port 33440 unreachable (DF) (ttl 254, id 14811,
    len 66)
```

Telnet a puertos conocidos

```
# telnet www.uoregon.edu 80
Trying 128.223.142.13...
Connected to www.uoregon.edu.
Escape character is '^]'.
GET /
<html>
<head>
<title>University of Oregon Home Page</title><link rel="SHORTCUT ICON"
    href="/favicon.ico">

# telnet darkwing.uoregon.edu 25
Trying 128.223.142.13...
Connected to darkwing.uoregon.edu.
Escape character is '^]'.
220 darkwing.uoregon.edu ESMTP Sendmail 8.12.11/8.12.11; Mon, 23 Feb 2004 15:52:28 -
    0800 (PST)
vrfy cvicente
250 2.1.5 Carlos Vicente <cvicente@darkwing.uoregon.edu>
quit
221 2.0.0 darkwing.uoregon.edu closing connection
Connection closed by foreign host.
```

Ejercicios en clase

- ¿A qué subred pertenece 172.17.21.10/22? Cuál es la dirección de broadcast correspondiente?

Ejercicios en Clase

- Solución:
  - /22 significa que en el tercer octeto tenemos 6 bits de subred
  - $2^6 = 64$
  - Si tenemos 256 posibles números para subredes, y sólo 64 válidas
    - 256/64 = 4
    - Las subredes irán de 4 en 4, no?
    - 172.17.0.0 (172.17.0.1 – 172.17.3.255)
    - 172.17.4.0 (172.17.4.1 – 172.17.7.255)
    - 172.17.8.0 (172.17.8.1 – 172.17.11.255)
  - Nuestra dirección cae dentro de 172.17.0.20
  - La dirección broadcast es la última en ese rango
    - 172.17.23.255

Ejercicios en Clase

- ¿Qué pasaría si configuramos un nodo con una máscara incorrecta? Por ejemplo, 255.255.254.0 cuando el router y los demás en la subred tienen 255.255.255.0?

Ejercicios en Clase

- Solución:
  - No podrá enviar al rango IP contiguo
  - Por ejemplo:
    - La red es 192.168.0.0/24
    - El nodo está configurado con 192.168.0.10/23
    - El nodo piensa que su rango local es:
      - 192.168.0.1 – 192.168.1.254
    - Cuando envíe a nodos entre
      - 192.168.1.1 – 192.168.1.254
      - Enviará peticiones ARP que nunca serán respondidas

Más información

- *TCP/IP Illustrated*. Richard Stevens. Addison-Wesley
- *Internetworking with TCP/IP*. Douglas Comer. Prentice-Hall
- *Cisco Internetworking Basics*
  http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/introint.htm
- *TCP/IP Network Administration*. Craig Hunt O'reilly & Associates.
- Requests for Comments (RFCs)
  www.ietf.org