

# Capítulo 4

## La Capa de Red Parte 2

Application
Transport
Network
Link
Physical

# Control de congestión

- ¿Qué hacen los algoritmos de control de congestión estudiados de TCP?
  - ¿Qué hacen al comienzo?
  - ¿Qué hacen una vez que se detectó congestión?
- ¿Qué críticas pueden hacerle a estos algoritmos de TCP?
- ¿Dónde se produce la congestión?

# Control de congestión

- Dar algunas ideas de qué podrían hacer los enrutadores para colaborar con los hosts en el control de congestión y así mejorar el desempeño del control de congestión

# Control de congestión

- Dar algunas ideas de qué podrían hacer los enrutadores para colaborar con los hosts en el control de congestión y así mejorar el desempeño del control de congestión.
- **Soluciones existentes:**
  - regulación de tráfico y
  - desprendimiento de carga.

# Control de congestión

- ¿Cómo puede identificar congestión un enrutador? Dar ideas.
- ¿Es mejor para identificar congestión un enrutador que un host?
  - ¿Si es cierto, en qué sentido?

# Identificación de la Congestión

- **Solución:** Cada enrutador monitorea la **demora de la cola** de línea de salida.
  - ❑ Asociar a cada línea:  $d$  = **demora reciente de cola de esta línea**.
  - ❑ Tomar periódicamente una muestra de la **longitud de cola instantánea de la línea**,  $s$
  - ❑ Actualizar  $d$  periódicamente usando:

$$d_{nvo} = \alpha d_{ant} + (1 - \alpha) * s$$

donde  $\alpha$  determina la rapidez con que el enrutador olvida la historia reciente.

# Identificación de la Congestión

- Siempre que  $d$  rebasa un **umbral**, la línea de salida entra un **estado de advertencia**.
  - ☐ Cada paquete nuevo que llega se revisa para ver si su línea de salida está en estado de advertencia.
  - ☐ Si es así, se realiza alguna acción.

# Regulación de tráfico

- **Método de paquetes reguladores:**
  - un enrutador avisa de la congestión al host que envió paquete,
  - cuando el paquete tiene que pasar por una línea de salida congestionada.
  - Para eso el enrutador envía un **paquete regulador** de aviso.



# Regulación de tráfico

- ¿Qué información conviene que contenga un paquete regulador?
- ¿Cómo evitar que un paquete regulador genere varios paquetes reguladores a lo largo de su ruta?
- ¿Qué hace host cuando le llega paquete regulador?
  - Considerar que le va a llegar una ráfaga de paquetes reguladores.
- ¿Qué pasa con el algoritmo de paquetes reguladores a altas velocidades de tasa de datos o a distancias grandes entre hosts?

# Desprendimiento de carga

- ¿Cómo puede pasar que con regulación de tráfico se pierdan paquetes indiscriminadamente debido a la congestión?
  - Por ejemplo, pensarlo con paquetes reguladores.
- ¿Por qué hay que evitar el descarte indiscriminado de paquetes?
- Dar alguna idea para evitar el descarte indiscriminado de paquetes.

# Desprendimiento de carga

- idear estrategias para evitar el descarte indiscriminado de paquetes.

# Desprendimiento de carga

- ¿Cómo funciona el desprendimiento de carga junto con la regulación de tráfico? Dar idea general.

# Desprendimiento de Carga

- **Algoritmo de detección temprana aleatoria (RED).**
  - ❑ Para detectar cuándo comenzar a descartar paquetes, los enrutadores mantienen un **promedio móvil de sus longitudes de cola**.
  - ❑ **Cuando este promedio de una cola  $C$  sobrepasa el umbral**
    - Una ***pequeña fracción*** de los paquetes son descartados al azar.
  - ❑ **Con cada uno de esos paquetes:**
    1. El enrutador **elige un paquete al azar** de  $C$ .
    2. Se descarta el paquete seleccionado.
    3. El origen notará falta de ACK y la ***capa de transporte*** disminuirá la velocidad de transmisión.

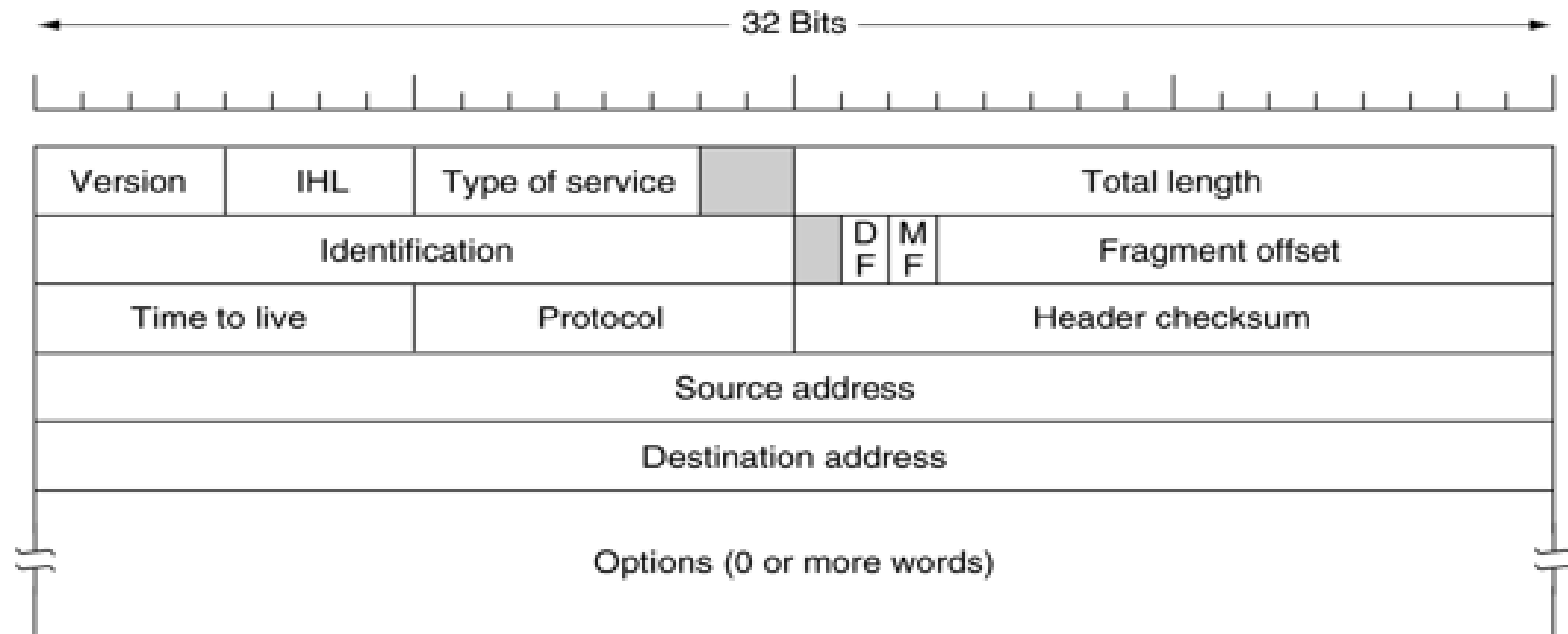
# Control de congestión

- **Ejercicio:** indicar dos ventajas de uso de red con respecto a paquetes reguladores.

# IP

- ¿Cómo se puede diseñar un encabezado para responder las siguientes preguntas?
  - ¿Cómo indicar dónde termina un datagrama?
  - ¿Cómo indicar dónde termina el encabezado?
  - ¿Para qué otras cosas necesito informaciones en el encabezado?

# IP



- campo **IHL** (4b): longitud del encabezado (como en TCP)
- Campo **longitud total**: (2B) de encabezado + datos  $\leq 65535$  B
- Campo **tipo de servicio**: 2 últimos bits para ECN.
- Campo **protocolo** (8 b): protocolo de capa de transporte.
- La segunda palabra se usa para fragmentación.
- Campo **tiempo de vida**: para limitar tiempo de vida de un paquete.
- Campo **checksum**: para detectar errores en el paquete.



# Direcciones IP

- **Repaso:**
  - ¿Qué saben sobre las direcciones IP?
  - ¿En qué partes se divide una dirección IP?
  - ¿Por qué las direcciones IP son jerárquicas?
  - ¿Por qué una misma máquina puede tener más de una dirección IP?

# Direcciones IP

## – Notación para las direcciones IP

- La dirección IP más baja es 0.0.0.0 y la más alta es: 255.255.255.255.

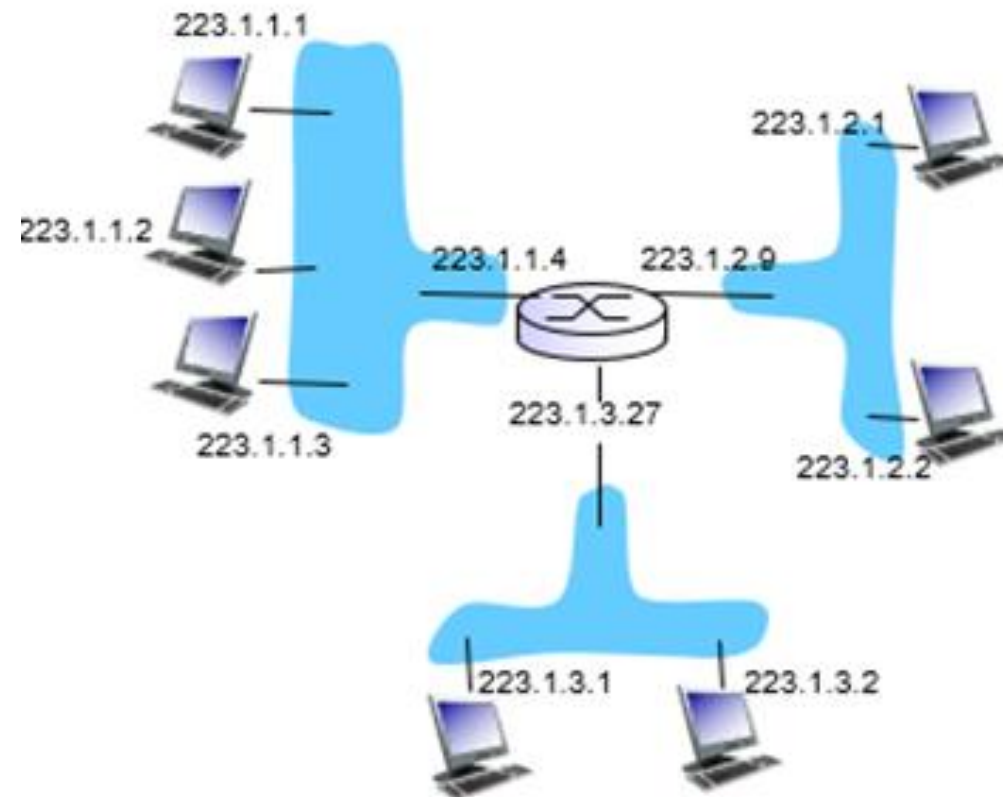
223.1.1.2 = 11011111 00000001 00000001 00000010

└───┬───┬───┬───┘

223 1 1 2

# Direcciones IP

- Una **interfaz** es la conexión entre un host/enrutador y un enlace físico.
- ¿Con qué se puede conectar un enlace físico?



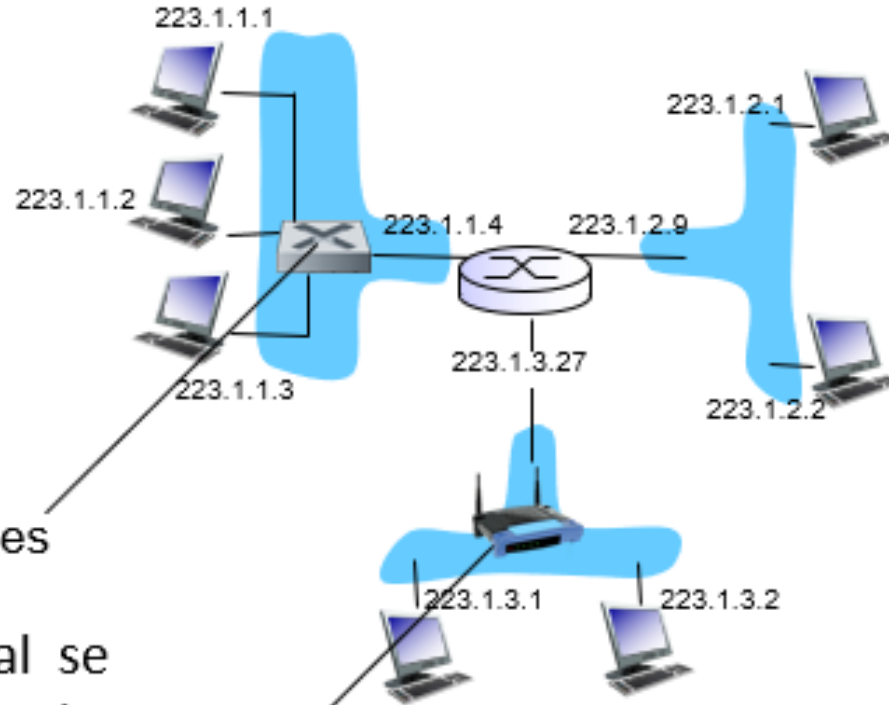
# Direcciones IP

**Repaso: ¿Cómo están las interfaces actualmente conectadas entre sí?**

Se usan conmutadores y estaciones base.

**A:** wired Ethernet interfaces connected by Ethernet switches

Fijarse que en cada red local se Usa la misma dirección de red.



**A:** wireless WiFi interfaces connected by WiFi base station

# Direcciones IP

- ¿Cuántas interfaces tiene un enrutador?
- ¿Cuántas interfaces tiene un host?
- Cada interfaz tiene asociada una dirección IP.

# Direcciones IP

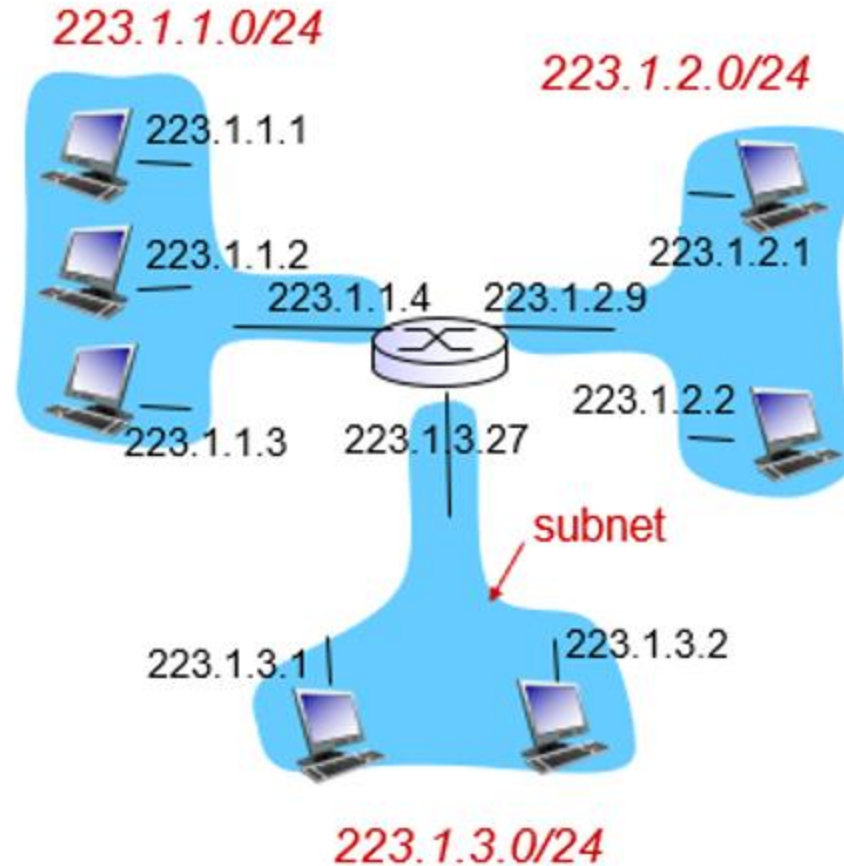
- ¿Cómo identificar una red local de manera compacta?
  - **Ayuda:** asumir que una red corresponde a un bloque contiguo de direcciones IP y su tamaño es una potencia de 2.
  - Ser creativos, proponer formas de hacerlo.

# Direcciones IP

- **Solución adoptada por internet:** uso de prefijos. Estos identifican una red dando la dirección de red más baja y la cantidad de bits usada para la dirección de red.
  - **Ejemplo: ¿Qué significa el prefijo 128.208.0.0/24?**
    - la porción de la red es de 24 bits,
    - que tengo  $2^8$  máquinas en la red y
    - la dirección IP más baja en el bloque es 128.208.0.0.

# Subredes

- *Concepto de subred (libro de Kurose):*
  - conjunto de interfaces de dispositivos con la **misma** parte de red de la dirección IP
  - Las subredes se especifican usando prefijos.



Red consistente de 3 subredes



# Enrutamiento jerárquico en IP

- **Repaso:**
  - ¿Cuál es el efecto de tener una tabla de reenvío demasiado grande (indexada por todos los enrutadores).
  - ¿Cómo se evitaba esto?
- ¿Qué podrían ser las regiones en IP?
- **Problema:** ¿Cómo asignar a una organización una red sin que se desperdicien demasiadas direcciones y sin que las tablas de enrutamiento crezcan demasiado?

# Enrutamiento jerárquico en IP

- **Solución: CIDR**

- Asignar prefijos a organizaciones
- Que tablas de reenvío contemplen solo prefijos
- Que tablas de reenvío contemplen agregación de prefijos

# CIDR

- **Ejercicio:**
  - Un bloque de 8192 direcciones IP está disponible comenzando en 194.24.0.0.
  - Primero pide Cambridge 2048, luego Oxford 4096, y por último Edinburgh 1024.
  - Asignar *adecuadamente* redes a esas universidades por medio de bloques de direcciones de los tamaños pedidos.
  - Expresar cada red como un prefijo.

# CIDR

**Solución:** bloques de direcciones IP asignados:

University	First address	Last address	How many	Written as
Cambridge	194.24.0.0	194.24.7.255	2048	194.24.0.0/21
Edinburgh	194.24.8.0	194.24.11.255	1024	194.24.8.0/22
(Available)	194.24.12.0	194.24.15.255	1024	194.24.12/22
Oxford	194.24.16.0	194.24.31.255	4096	194.24.16.0/20

# Tablas de reenvío

- ¿Cómo podría definirse tabla de reenvío para IP? Dar algunas ideas.
- **Ayuda:** recordar que es enrutamiento jerárquico hecho de una manera muy especial.
- Para la mejor idea, ¿cómo calcular la línea de salida por la que enviar el paquete?

# Tablas de reenvío

- Para calcular eficientemente la línea de salida por la cual enviar un paquete se introduce el concepto de máscara.
- Una **máscara** está formada de 1s para identificar la red seguido de 0s para identificar las máquinas.
- ¿Cuál es la máscara de 128.208.0.0/24?

# Tablas de reenvío

- Para calcular eficientemente la línea de salida por la cual enviar un paquete se introduce el concepto de máscara.
- Una **máscara** está formada de 1s para identificar la red seguido de 0s para identificar las máquinas.
- **¿Cuál es la máscara de 128.208.0.0/24?**
- 11111111 11111111 11111111 00000000
- Otra forma de expresarla es: 255.255.255.0

# Tablas de reenvío

- ¿Usando la máscara, cómo puedo identificar la subred en lugar de usar un prefijo?
- ¿Entonces cómo queda la tabla de reenvío?



# Tablas de reenvío

- **Solución:** el enrutamiento es jerárquico y solo se representan redes - de organismos.
  - Cada entrada de tabla de enrutamiento se extiende para darle una **máscara** de 32 bits.
  - **Tabla de enrutamiento** para todas las redes tiene entradas:  
(dirección IP inicio subred, máscara, línea de salida.)

# Tablas de reenvío

- **Ejercicio:** Para la figura:

University	First address	Last address	How many	Written as
Cambridge	194.24.0.0	194.24.7.255	2048	194.24.0.0/21
Edinburgh	194.24.8.0	194.24.11.255	1024	194.24.8.0/22
(Available)	194.24.12.0	194.24.15.255	1024	194.24.12/22
Oxford	194.24.16.0	194.24.31.255	4096	194.24.16.0/20

- Definir las entradas de la tabla de enrutamiento
- Omitir la línea de salida

# Tablas de reenvío

University	First address	Last address	How many	Written as
Cambridge	194.24.0.0	194.24.7.255	2048	194.24.0.0/21
Edinburgh	194.24.8.0	194.24.11.255	1024	194.24.8.0/22
(Available)	194.24.12.0	194.24.15.255	1024	194.24.12/22
Oxford	194.24.16.0	194.24.31.255	4096	194.24.16.0/20

- ¿Para Cambridge cuántos bits hacen falta para número de máquina?
- ¿Cuántos faltan para dirección de red?
- ¿Cuál es la mascara?

# Tablas de reenvío

University	First address	Last address	How many	Written as
Cambridge	194.24.0.0	194.24.7.255	2048	194.24.0.0/21
Edinburgh	194.24.8.0	194.24.11.255	1024	194.24.8.0/22
(Available)	194.24.12.0	194.24.15.255	1024	194.24.12/22
Oxford	194.24.16.0	194.24.31.255	4096	194.24.16.0/20

- ¿Para Cambridge cuántos bits hacen falta para número de máquina? 11
- ¿Cuántos faltan para dirección de red? 21
- ¿Cuál es la mascara?
- 11111111 11111111 11111000 00000000
- 255.255.248.0
- Calcular las entradas de la tabla en binario.

# Tablas de reenvío

University	First address	Last address	How many	Written as
Cambridge	194.24.0.0	194.24.7.255	2048	194.24.0.0/21
Edinburgh	194.24.8.0	194.24.11.255	1024	194.24.8.0/22
(Available)	194.24.12.0	194.24.15.255	1024	194.24.12/22
Oxford	194.24.16.0	194.24.31.255	4096	194.24.16.0/20

- Hacer los otros casos en casa.

- Les tiene que dar:

- Dirección

Máscara

- C: 11000010 00011000 00000000 00000000 11111111 11111111 11111000  
00000000
- E: 11000010 00011000 00001000 00000000 11111111 11111111 11111100  
00000000
- O: 11000010 00011000 00010000 00000000 11111111 11111111 11110000  
00000000

# Reenvío

- Problema: ¿Cómo se usa la tabla de enrutamiento cuando llega un paquete?
  1. Extraer dirección de destino IP.
  2. Luego analizar la tabla entrada por entrada,
    - Hacer AND de la máscara de la entrada con la dirección de destino y comparar el resultado con la dirección IP de inicio de la subred de la entrada.
    - ¿Qué produce ese AND?
  3. Si coinciden entradas múltiples se usa la máscara más larga (la red más pequeña).

# Reenviar

- **Ejercicio:** Un paquete viene con la dirección 194.24.17.4.
  - Si se usa la tabla de enrutamiento anterior, ¿qué entrada se va a usar para enrutar?

- Dirección

## Máscara

- C: 11000010 00011000 00000000 00000000    11111111 11111111 11111000 00000000
- E: 11000010 00011000 00001000 00000000    11111111 11111111 11111100 00000000
- O: 11000010 00011000 00010000 00000000    11111111 11111111 11110000 00000000

## Solución

- Un paquete viene con la dirección 194.24.17.4, el cual en binario es:
  - 11000010 00011000 00010001 00000100
- Se hace AND con la máscara de Cambridge obteniendo:



- Dirección

## Máscara

- C: 11000010 00011000 00000000 00000000    11111111 11111111 11111000 00000000
- E: 11000010 00011000 00001000 00000000    11111111 11111111 11111100 00000000
- O: 11000010 00011000 00010000 00000000    11111111 11111111 11110000 00000000

## Solución

- Un paquete viene con la dirección 194.24.17.4, el cual en binario es:
  - 11000010 00011000 00010001 00000100
- Se hace AND con la máscara de Cambridge obteniendo:
  - 11000010 00011000 00010000 00000000
  - Este valor no concuerda con la dirección base de Cambridge.
- Se hace AND con la máscara de Edinburgh obteniendo:

- Dirección

## Máscara

- C: 11000010 00011000 00000000 00000000    11111111 11111111 11111000 00000000
- E: 11000010 00011000 00001000 00000000    11111111 11111111 11111100 00000000
- O: 11000010 00011000 00010000 00000000    11111111 11111111 11110000 00000000

## Solución

- Un paquete viene con la dirección 194.24.17.4, el cual en binario es:
  - 11000010 00011000 00010001 00000100
- Se hace AND con la máscara de Cambridge obteniendo:
  - 11000010 00011000 00010000 00000000
  - Este valor no concuerda con la dirección base de Cambridge.
- Se hace AND con la máscara de Edinburgh obteniendo:
  - 11000010 00011000 00010000 00000000
  - Este valor no concuerda con la dirección base de Edinburgh.
- Luego se prueba con Oxford obteniendo:

- Dirección

## Máscara

- C: 11000010 00011000 00000000 00000000    11111111 11111111 11111000 00000000
- E: 11000010 00011000 00001000 00000000    11111111 11111111 11111100 00000000
- O: 11000010 00011000 00010000 00000000    11111111 11111111 11110000 00000000

## Solución

- Un paquete viene con la dirección 194.24.17.4, el cual en binario es:
  - 11000010 00011000 00010001 00000100
- Se hace AND con la máscara de Cambridge obteniendo:
  - 11000010 00011000 00010000 00000000
  - Este valor no concuerda con la dirección base de Cambridge.
- Se hace AND con la máscara de Edinburgh obteniendo:
  - 11000010 00011000 00010000 00000000
  - Este valor no concuerda con la dirección base de Edinburgh.
- Luego se prueba con Oxford obteniendo:
  - 11000010 00011000 00010000 00000000
  - Este valor concuerda con la base de Oxford.
- Si no se encuentran más correspondencias a continuación, la entrada de Oxford es usada.

# Agregación de prefijos

- **Nomenclatura:** una red de /xx significa que la porción de la red tiene xx bits. P. ej. : una red de /20.
- **Para evitar que las tablas de enrutamiento crezcan demasiado**
- se combinan varios prefijos en un prefijo único más grande (conocido como **superred**).
- A este proceso se le llama **agregación de prefijos**.
- **Ejemplo:** la misma dirección IP que un enrutador trata como parte de un /22 puede ser tratada por otro enrutador como parte de un /20 más grande.

# Agregación de prefijos

- A distintas regiones geográficas se asignan distintos espacios de direcciones. ¿Cómo aprovechar esto en la agregación de prefijos?

# Agregación de prefijos

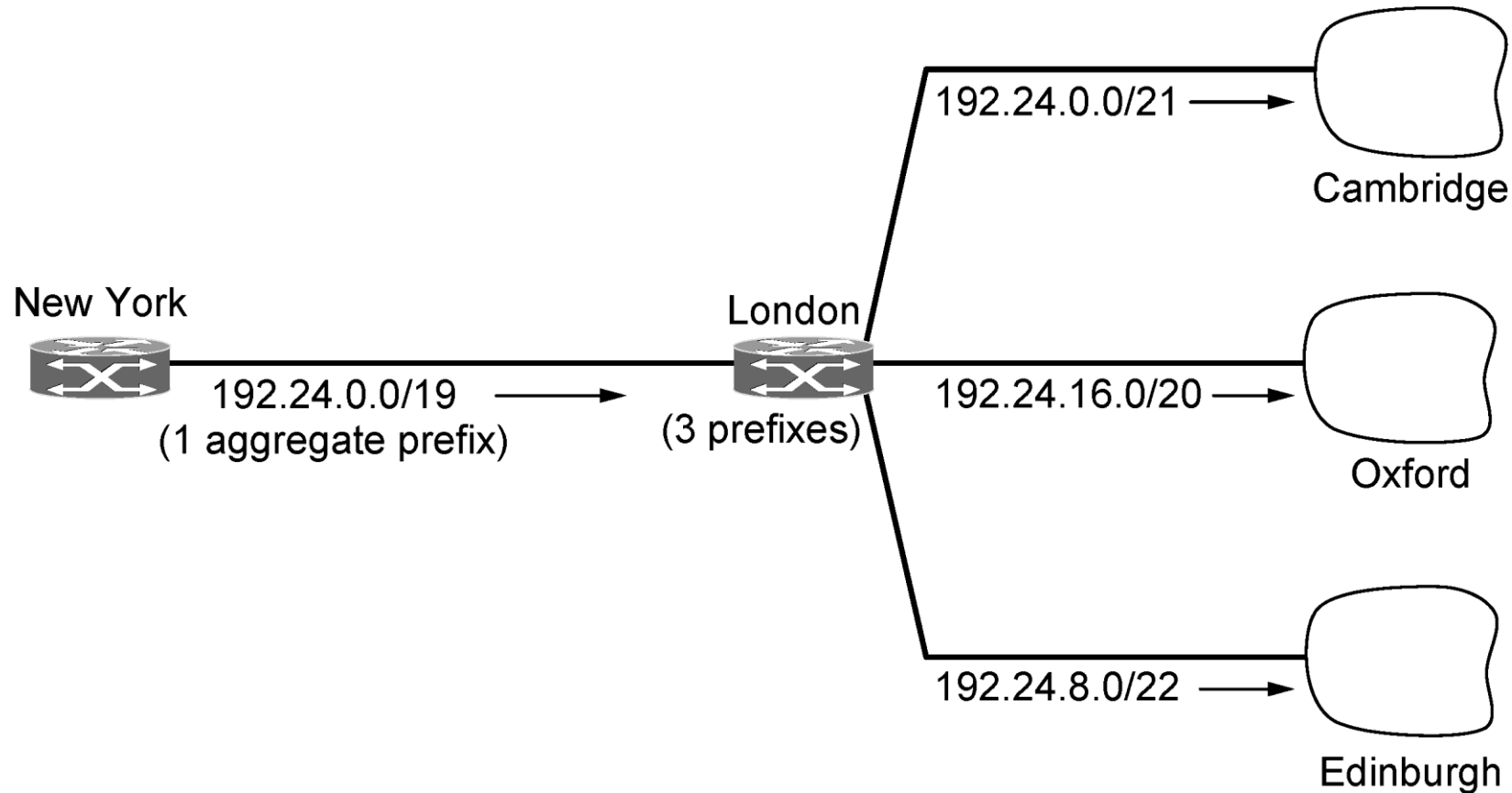
- A distintas regiones geográficas se asignan distintos espacios de direcciones. ¿Cómo aprovechar esto en la agregación de prefijos?
- **Idea:** combinar prefijos de varias redes que están *en una misma región geográfica* en un prefijo para un enrutador que está en otra *región alejada*.
- **Ejemplo:** prefijos de varias redes de Inglaterra pueden combinarse en un prefijo para un enrutador de Estados Unidos.

# Agregación de prefijos

- **Ejercicio:** aplicar agregación de prefijos a las 3 redes de universidades de Inglaterra (**ayuda:** ellas entran en bloque de 8192 direcciones) para un enrutador en Nueva York.

University	First address	Last address	How many	Written as
Cambridge	194.24.0.0	194.24.7.255	2048	194.24.0.0/21
Edinburgh	194.24.8.0	194.24.11.255	1024	194.24.8.0/22
(Available)	194.24.12.0	194.24.15.255	1024	194.24.12/22
Oxford	194.24.16.0	194.24.31.255	4096	194.24.16.0/20

El proceso de enrutamiento en Londres combina los 3 prefijos en una entrada agregada para el prefijo 192.24.0.0/19 que es pasado al enrutador de New York. Este prefijo contiene 8K direcciones y cubre las 3 universidades .



Aggregation of IP prefixes.

Usando agregación de prefijos, los 3 prefijos anteriores fueron combinados en uno



# Agregación de prefijos

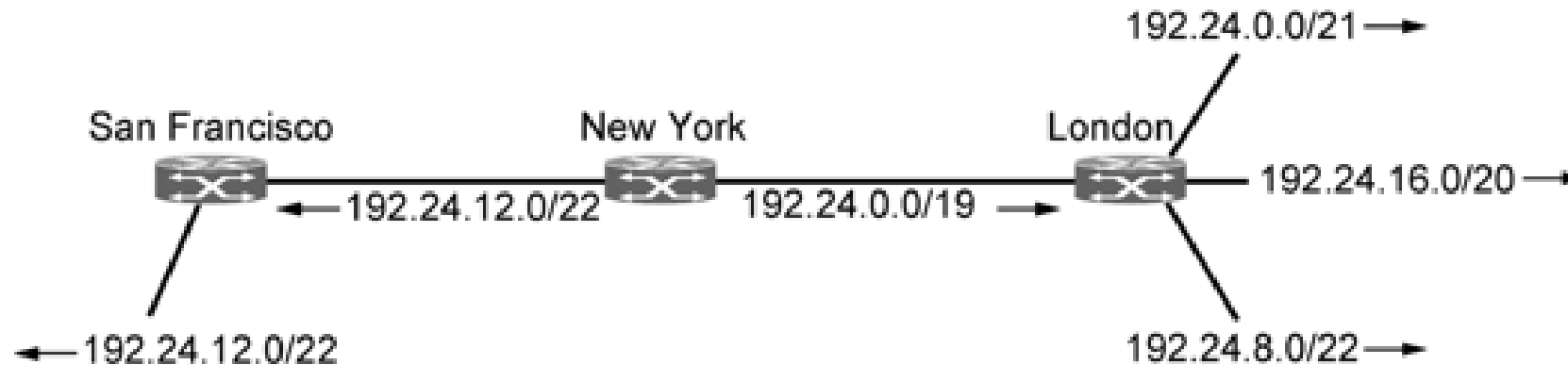
- Cuándo se prende agregación de prefijos, es un ***proceso automático***.
- La agregación de prefijos es fuertemente usada en la Internet y puede reducir el tamaño de las tablas de los enrutadores en alrededor de 200.000 prefijos.

# Agregación de prefijos

- ¿Pero esta idea de agregación de prefijos no interfiere con redes más chicas que no fueron agregadas y que caen en bloques agregados?

# Agregación de prefijos

- ¿Pero esta idea de agregación de prefijos no interfiere con redes más chicas que no fueron agregadas y que caen en bloques agregados?
- No, porque los paquetes son enviados en la dirección de la ruta más específica o el **prefijo más largo a cazar (longest matching prefix)**.
  - El trabajar de ese modo provee flexibilidad,



Longest matching prefix routing at the New York router.

# Escasez de direcciones IPv4 en PSI

- **Situación:** Un PSI tiene una red de /c; esto quiere decir que se le dan  $2^{(32 - c)}$  números IP para máquinas.
  - Con el esquema actual los clientes no pueden tener más de  $2^{(32 - c)}$  máquinas usando el servicio del ISP en un momento dado.
- **Problema:** ¿Cómo aumentar la cantidad máquinas que usan el servicio del PSI bien por arriba de las  $2^{(32 - c)}$  a pesar de tener una red de /c?
- **Consecuencia:** Resolverlo aumentaría drásticamente la cantidad de máquinas que pueden acceder a internet.

# Escasez de direcciones IPv4 en PSI

- **Solución:** Partición de direcciones IP
  - Direcciones IP públicas y direcciones IP privadas.
  - Cada organización tiene dirección IP pública visible desde internet.
  - Dentro de la organización las máquinas tienen direcciones IP privadas
    - dentro de un rango de direcciones IP privadas.
  - Una máquina de una organización queda identificada por dirección IP pública y dirección IP privada.
  - **Consecuencia:** Las IP privadas pueden repetirse en diferentes organizaciones tanto como se quiera.

# NAT

- **Implementación (NAT):** Para hacer posible este esquema los 3 rangos de direcciones IP se han declarado como privados.
  - Las organizaciones pueden usarlos internamente cuando deseen.
  - La única regla es que **ningún paquete que contiene estas direcciones pueda aparecer en la internet**. Los 3 rangos reservados son:
    - 10.0.0.0 – 10.255.255.255/8 (16,777,216 hosts)
    - 172.16.0.0 – 172.31.255.255/12 (1,048,576 hosts)
    - 192.168.0.0 – 192.168.255.255/16 (65,536 hosts)
  - Al entrar o salir paquetes a la organización ocurre traducción de dirección IP.
  - Una caja NAT se encarga de hacer la traducción.

# NAT

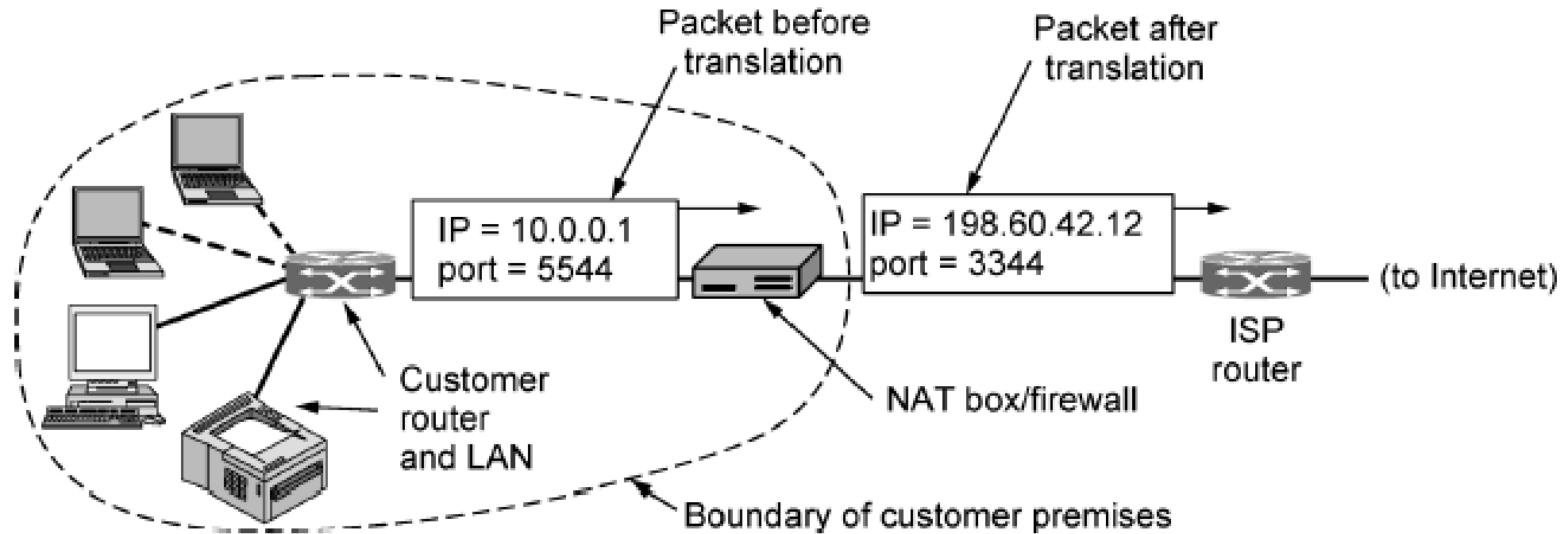


Fig. 60: Colocación y operación de la caja NAT

# NAT

- **Implementación (NAT) – continuación:**
  - Se consideran dos tipos de puertos: aquellos usados para identificar una conexión y aquellos usados para identificar un proceso de una máquina.
  - La caja NAT tiene una tabla cuyos índices son puertos para identificar proceso de una máquina.
    - Una entrada de la tabla contiene:  
(número de puerto para identificar la conexión, dirección IP)
  - **¿Cómo hacer cuando llega un paquete a caja NAT desde internet?**
  - **¿Cómo hacer cuando llega un paquete a caja NAT desde la compañía?**



# NAT

- **Ejercicio C:** Supongamos que una empresa tiene un número de IP 180.20.35.115 y que usa NAT con una red interna de prefijo 192.168.0.0/16. Supongamos que por el momento hay solo dos máquinas en la red de la empresa con direcciones IP: 192.168.0.2 y 192.168.0.4. Suponer que existen las siguientes conexiones TCP:
  1. (192.168.0.2, 5000) con (198.60.42.12, 80)
  2. (192.168.0.2, 2000) con (194.24.0.5, 110)
  3. (192.168.0.4, 5000) con (198.60.100.12, 80)
- Se pide:
  1. Construir la tabla de la caja NAT.
    - Luego usar la tabla de la caja NAT construida para responder a las siguientes preguntas:
  2. Si sale un mensaje de 192.168.0.2, 5000 hacia 198.60.42.12, 80: ¿Cuál es la traducción del puerto de origen e IP de origen en ese paquete que hace la caja NAT antes de colocar en internet el paquete?
  3. Si llegara a la caja NAT un mensaje desde 194.24.0.5, 110, ¿qué IP y puerto de origen tiene ese mensaje que llega a la caja NAT y a qué valores los traduce la caja NAT a esos campos antes de poner el mensaje en la red de la empresa?