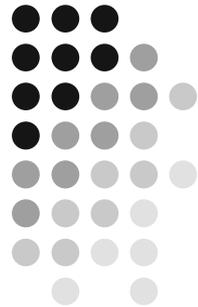


Nivel de Red: Funciones Enrutamiento en Internet

Tema 4.- Nivel de Red en Internet

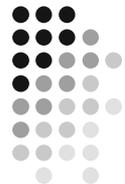
Dr. Daniel Morató
Redes de Computadores
Ingeniero Técnico en Informática de Gestión, 2º curso

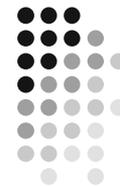


Material parcialmente adaptado del libro *Computer Networking: A Top Down Approach Featuring the Internet*, 3rd edition. Jim Kurose, Keith Ross, Ed. Addison-Wesley, Julio 2004

Temario

- 0.- Presentación de la asignatura
- 1.- Introducción
- 2.- Nivel de aplicación en Internet
- 3.- Nivel de transporte en Internet
- 4.- Nivel de red en Internet**
- 5.- Nivel de enlace





Temario

0.- Presentación de la asignatura

1.- Introducción

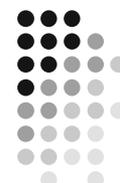
2.- Nivel de aplicación en Internet

3.- Nivel de transporte en Internet

4.- Nivel de red en Internet

- Funciones
- Enrutamiento en Internet
- Direccionamiento IP
- Formato del paquete IP
- ICMP
- El router IP
- Otros protocolos y servicios en redes IP
- Multimedia en Internet

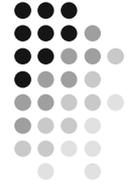
5.- Nivel de enlace



Tema 3: Nivel de Red

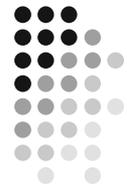
Objetivos:

- Comprender los principios en que se fundamentan los servicios del nivel de red aplicado a Internet



Contenido

- Funciones y servicios del nivel de red
 - Forwarding
 - Routing
 - Fragmentación y reensamblado
- Algoritmos de enrutamiento
 - Distance-vector
 - Link-State
- Enrutamiento jerárquico:
 - IGPs
 - RIP
 - OSPF
 - EGPs
- Estructura de enrutamiento en Internet

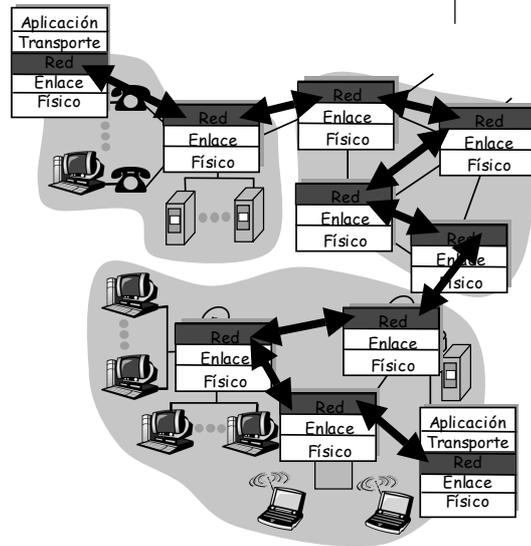


Contenido

- Funciones y servicios del nivel de red
 - Forwarding
 - Routing
 - Fragmentación y reensamblado
- Algoritmos de enrutamiento
 - Distance-vector
 - Link-State
- Enrutamiento jerárquico:
 - IGPs
 - RIP
 - OSPF
 - EGPs
- Estructura de enrutamiento en Internet

Nivel de red

- Transportar segmentos desde el host emisor al host receptor...
- En el emisor encapsula segmentos en datagramas
- En el receptor entrega segmentos al nivel de transporte
- Los protocolos del nivel de red se encuentran en todos los hosts y router...
- Los routers examinan los campos de la cabecera IP de todos los datagramas que pasan por ellos...

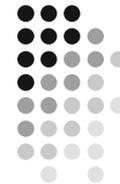


Funciones clave del nivel de red

- *forwarding*: mover paquetes desde el interfaz de entrada del router al de salida apropiado

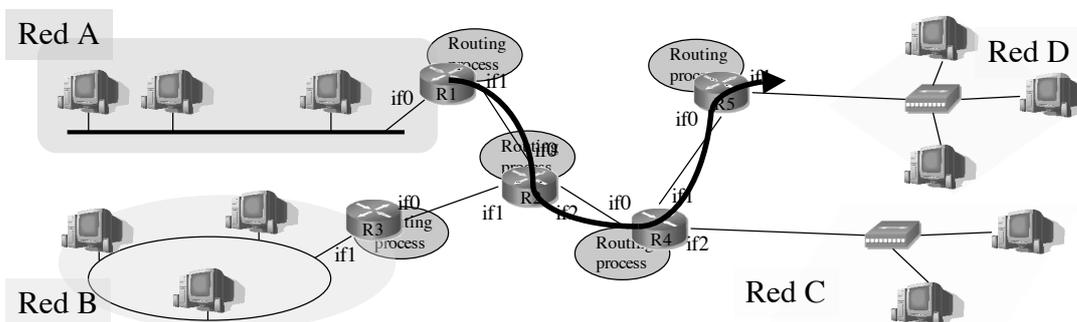
routing: determinar la ruta (camino) que deben seguir los paquetes de origen a destino

Algoritmos de enrutamiento



Funciones del nivel de Red

- Determinar la “ruta” que deben seguir los paquetes.
 - La “ruta” es un camino (path) y por lo tanto acíclico...
 - “Routing” es el proceso de calcular (mediante un “protocolo de enrutamiento”) los caminos que deben seguir los paquetes.
 - Es llevado a cabo normalmente por un proceso que se ejecuta en cada router (cálculo distribuido) ...
 - El resultado es una “tabla de rutas” (routing table) en cada router...



24 Nov

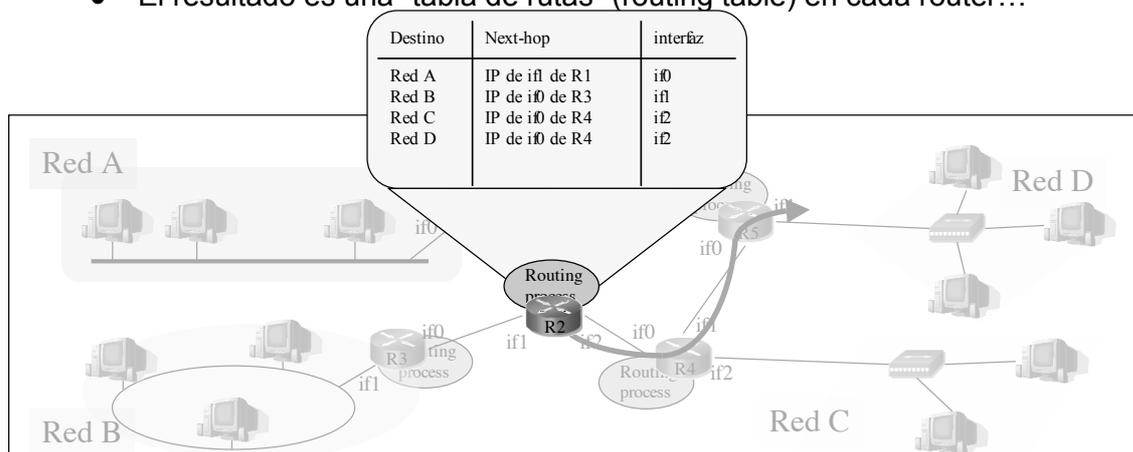
Nivel de Red: Funciones

8/38



Funciones del nivel de Red

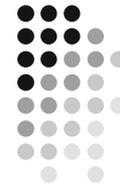
- Determinar la “ruta” que deben seguir los paquetes.
 - La “ruta” es un camino (path) y por lo tanto acíclico...
 - “Routing” es el proceso de calcular (mediante un “protocolo de enrutamiento”) los caminos que deben seguir los paquetes.
 - Es llevado a cabo normalmente por un proceso que se ejecuta en cada router (cálculo distribuido) ...
 - El resultado es una “tabla de rutas” (routing table) en cada router...



24 Nov

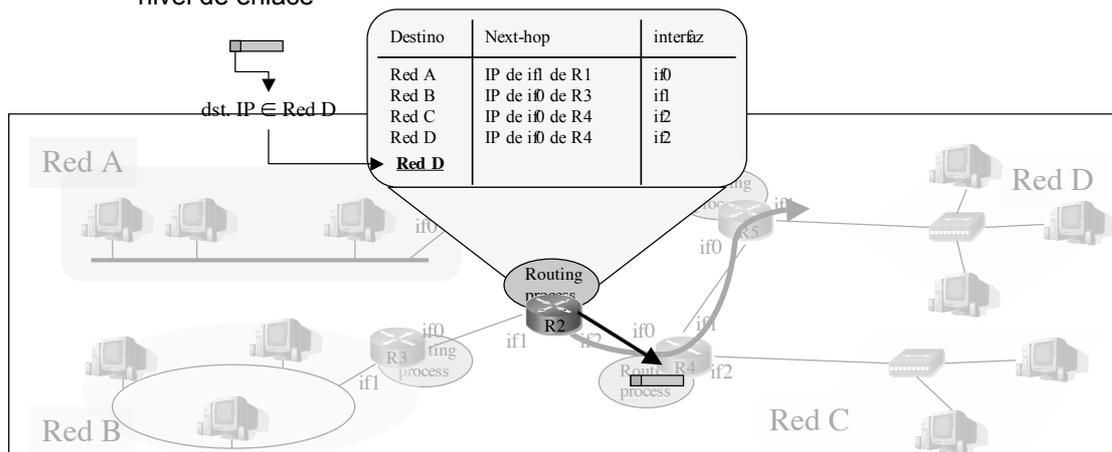
Nivel de Red: Funciones

9/38



Funciones del nivel de Red

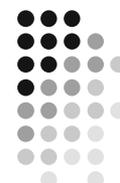
- Reenviar los paquetes
 - “Forwarding”: tarea realizada por un router por la cual un paquete que recibe por un interfaz lo “reenvía” por otro interfaz
 - En base a la información contenida en la tabla de rutas del router
 - La tabla de rutas indica cuál es el siguiente router en el camino
 - El router tendrá un enlace directo (están en la misma LAN) con él por alguno de sus interfaces de forma que puede hacerle llegar el paquete mediante el mecanismo del nivel de enlace



24 Nov

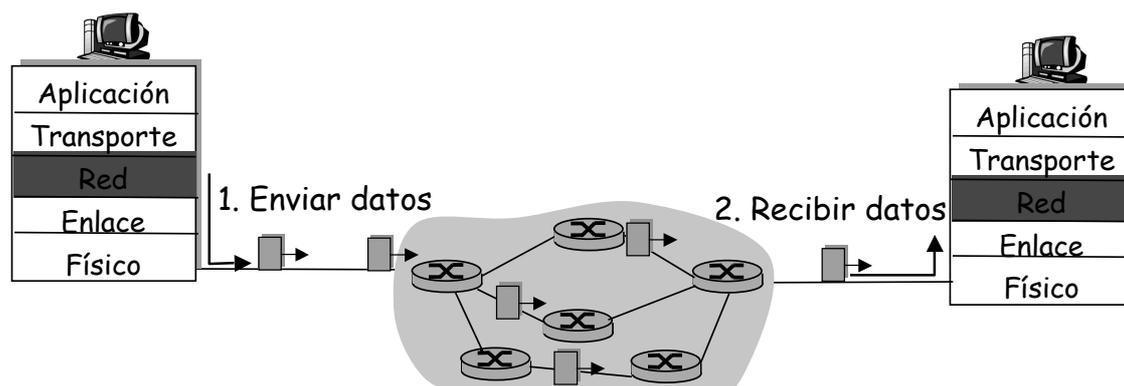
Nivel de Red: Funciones

10/38



Servicio de red de datagramas

- Routers: no almacenan estado sobre comunicaciones extremo a extremo
 - No hay un concepto de “conexión” a nivel de red
- Los paquetes se reenvían en base a la dirección del host destino
 - Paquetes del mismo origen al mismo destino pueden seguir diferentes caminos

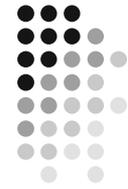


24 Nov

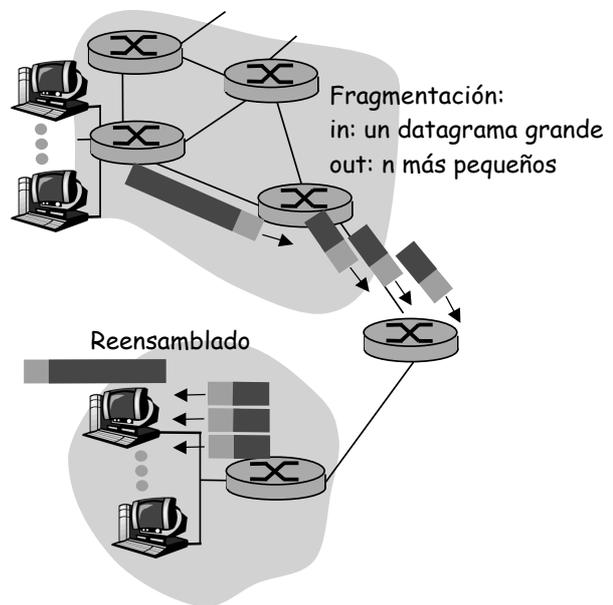
Nivel de Red: Funciones

11/38

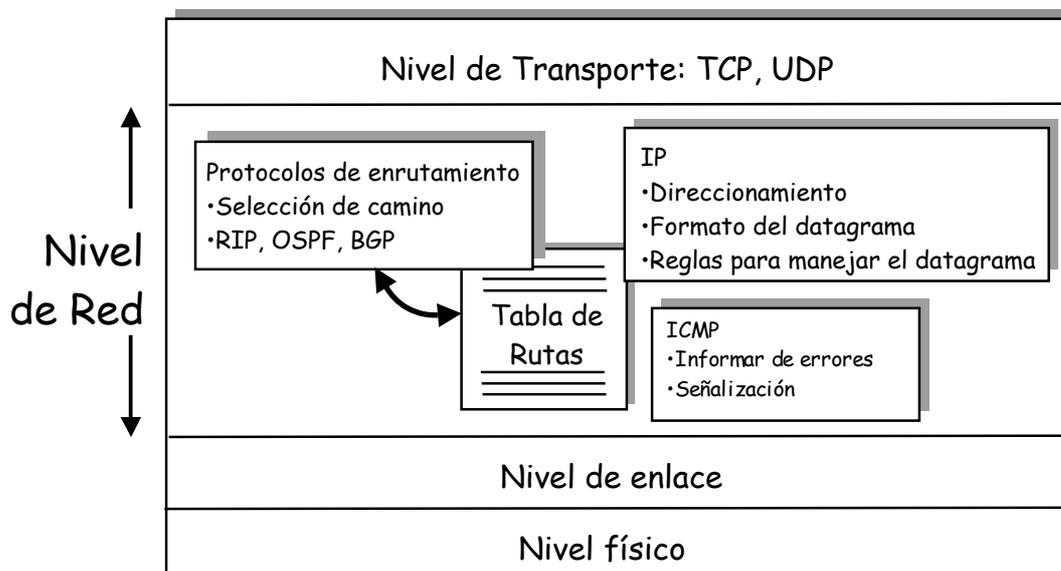
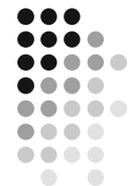
Fragmentación y Reensamblado

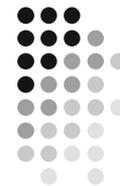


- Los enlaces tienen una MTU
 - MTU = Maximum Transfer Unit
 - Diferentes tipos de enlaces, diferentes MTUs
- Un datagrama IP es dividido (fragmentado) dentro de la red
 - Un datagrama se convierte en varios paquetes
 - Reensamblado en el host destino final



El nivel de Red en Internet

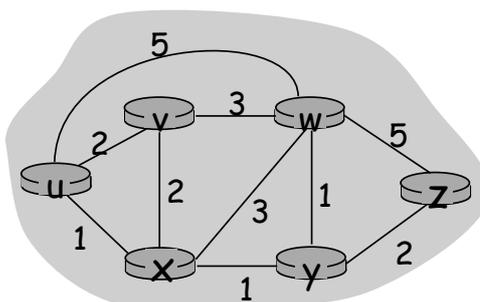




Contenido

- Funciones y servicios del nivel de red
 - Forwarding
 - Routing
 - Fragmentación y reensamblado
- Algoritmos de enrutamiento
 - Distance-vector
 - Link-State
- Enrutamiento jerárquico:
 - IGPs
 - RIP
 - OSPF
 - EGPs
- Estructura de enrutamiento en Internet

Abstracción de grafo



Grafo: $G = (N,E)$

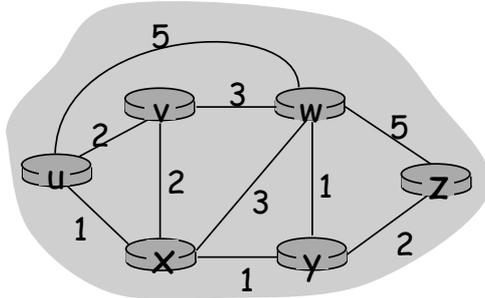
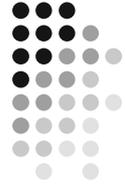
$N =$ conjunto de routers = $\{ u, v, w, x, y, z \}$

$E =$ conjunto de enlaces = $\{ (u,v), (u,x), (v,x), (v,w), (x,w), (x,y), (w,y), (w,z), (y,z) \}$

Nota: Esta abstracción es útil en otros contextos de red

Ejemplo: P2P, donde N es el conjunto de peers y E el de conexiones TCP

Abstracción de grafo: costes



- $c(x,x')$ = coste del enlace (x,x')
- ej., $c(w,z) = 5$

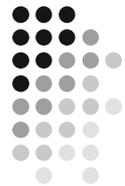
- El coste podría ser siempre 1 o inversamente proporcional al ancho de banda o inversamente proporcional a la congestión en el mismo, etc.

Coste del camino $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_p) = c(x_1, x_2) + c(x_2, x_3) + \dots + c(x_{p-1}, x_p)$

Pregunta: ¿Cuál es el camino de menor coste entre u y z?

Algoritmo de enrutamiento: algoritmo que encuentra el camino de menor coste

Construcción de las tablas de rutas



¿Estática o dinámica?

Estática:

- Configuración manual
- Cambios lentos

Dinámica:

- Mediante un protocolo de enrutamiento
 - Escalabilidad
 - Adaptabilidad
 - Complejidad

¿Información global o descentralizada?

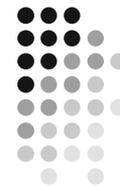
Global:

- Todos los routers tienen información completa de la topología y los costes de los enlaces

- Algoritmos “link state”

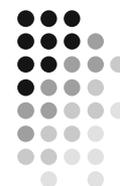
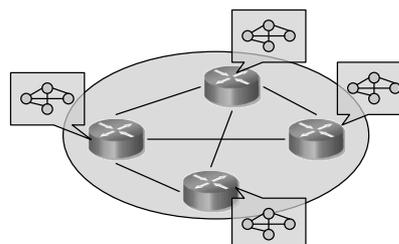
Descentralizado:

- El router conoce solo a sus vecinos
- Mediante un proceso iterativo intercambia esa información con sus vecinos
- Algoritmos “distance vector”



Un algoritmo Link-State

- Topología de la red y coste de los enlaces conocidos por todos los nodos
 - Logrado mediante difusión del estado de cada router (vecinos)
 - Todos los nodos poseen la misma información...
- Calcula los caminos de menor coste desde un nodo origen a todos los demás
 - Emplea el algoritmo de Dijkstra
 - Esto da la tabla de rutas para ese nodo



Un algoritmo distance vector

Ecuación de Bellman-Ford

Define

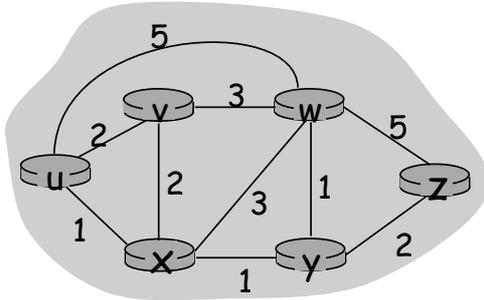
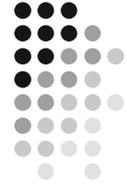
$d_x(y) :=$ coste del camino de menor coste desde x a y

Entonces

$$d_x(y) = \min \{c(x,v) + d_v(y)\}$$

Donde el mínimo se toma sobre todos los vecinos v de x

Ejemplo de Bellman-Ford



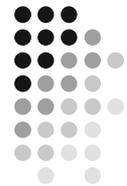
Se ve: $d_v(z) = 5$, $d_x(z) = 3$, $d_w(z) = 3$

B-F dice:

$$\begin{aligned}d_u(z) &= \min \{ c(u,v) + d_v(z), \\ &\quad c(u,x) + d_x(z), \\ &\quad c(u,w) + d_w(z) \} \\ &= \min \{ 2 + 5, \\ &\quad 1 + 3, \\ &\quad 5 + 3 \} = 4\end{aligned}$$

El nodo con el que se alcanza ese mínimo es el siguiente salto en el camino de menor coste → tabla de rutas

Distance vector

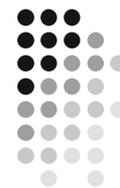


Idea básica:

- Cada nodo periódicamente envía a sus vecinos su estimación de cuál es el mejor siguiente salto desde él hacia cada destino posible
- Cuando un nodo recibe esa información actualiza sus cálculos de cuáles son sus mejores siguientes saltos empleando la ecuación de B-F:

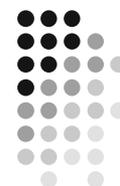
$$d_x(y) \leftarrow \min_v \{ c(x,v) + d_v(y) \} \quad \text{para cada nodo } y \in N$$

- En condiciones normales, esta estimación converge al coste real



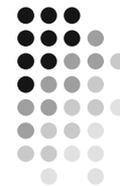
Contenido

- Funciones y servicios del nivel de red
 - Forwarding
 - Routing
 - Fragmentación y reensamblado
- Algoritmos de enrutamiento
 - Distance-vector
 - Link-State
- Enrutamiento jerárquico:
 - IGPs
 - RIP
 - OSPF
 - EGPs
- Estructura de enrutamiento en Internet



Enrutamiento jerárquico

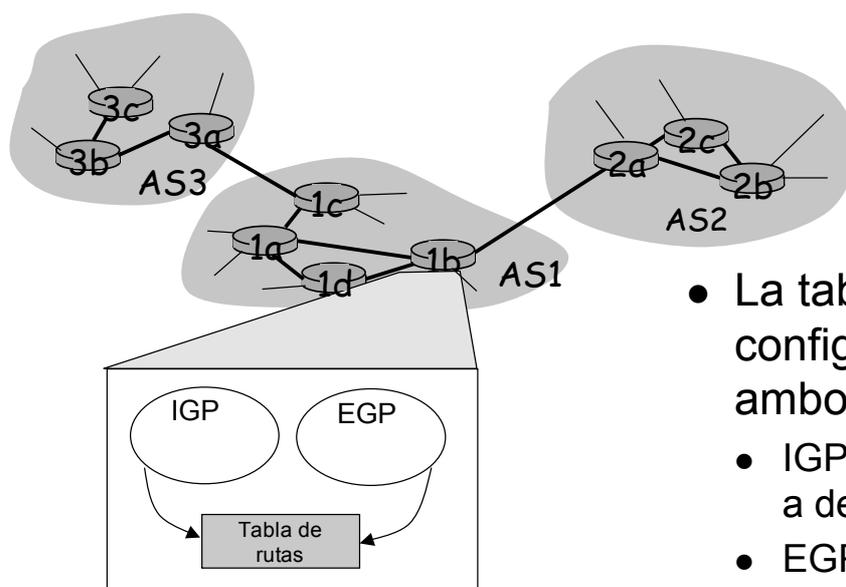
- Escala: con 200 millones de destinos
 - ¡No se pueden tener todos los destinos en la tablas de rutas!
 - Enviar la información de las rutas por los enlaces consumiría mucho ancho de banda
- Autonomía administrativa
 - Internet = red de redes
 - Cada administrador de red puede querer controlar el enrutamiento dentro de su red



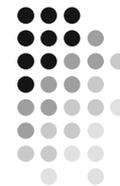
Enrutamiento jerárquico

- Agrupar routers en regiones, “autonomous systems” (AS)
- Normalmente los routers en el mismo AS emplean el mismo protocolo de enrutamiento
 - IGP = Interior Gateway Protocol
 - Routers en diferentes AS pueden emplear diferente IGP
- Hace falta comunicar información de enrutamiento entre los AS
 - EGP = Exterior Gateway Protocol
 - Entre los border routers o routers frontera de los AS

Interconexión de ASs

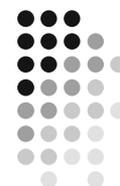


- La tabla de rutas es configurada por ambos
 - IGP introduce las rutas a destinos internos
 - EGP introduce las rutas a destinos externos



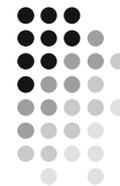
Interior Gate Protocols (IGP)

- Características:
 - Simples
 - Calculan caminos eficientes respecto a una métrica
 - Recalculan rápidamente ante cambios
 - No escalan bien para redes grandes
- Los más comunes:
 - RIP: Routing Information Protocol
 - OSPF: Open Shortest Path First
 - IGRP: Interior Gateway Routing Protocol (propietario de Cisco)



RIP (Routing Information Protocol)

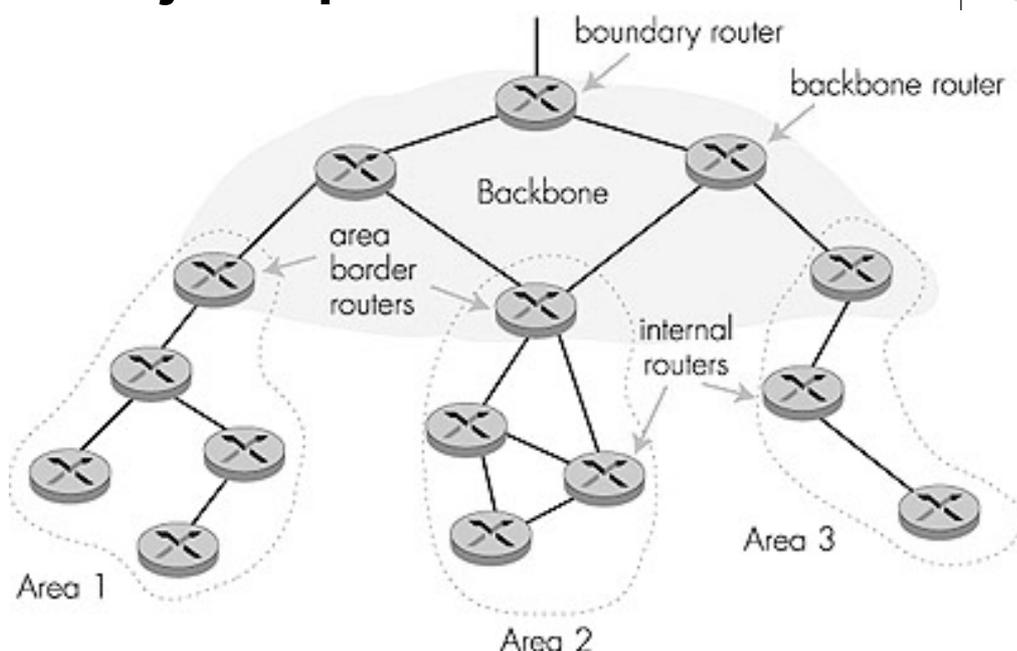
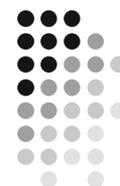
- Algoritmo distance vector
- Incluido en la distribución de BSD-UNIX de 1982
- Métrica: número de saltos (máximo = 15 saltos)
- No escala para redes grandes
- Simple
- Cálculo de rutas llevado a cabo por un proceso a nivel de aplicación llamado *routed*
- Anuncios de rutas a los vecinos mediante paquetes UDP

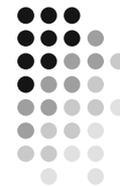


OSPF (Open Shortest Path First)

- “open”: disponible públicamente
- Emplea algoritmo Link State
- Puede calcular varios caminos de igual coste al mismo destino
- Soporta múltiples costes para el mismo enlace para calcular diferentes rutas para diferente tipo de tráfico
- Es jerárquico
- Los anuncios sobre los vecinos de cada ruta se diseminan por todo el AS (inundación)
 - Los mensajes de OSPF se transportan directamente sobre IP (sin TCP ni UDP)

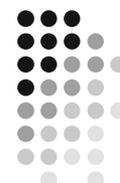
OSPF jerárquico





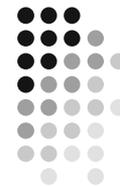
Exterior Gateway Protocol (EGP)

- Características:
 - Mejor escalabilidad
 - Habilidad para agregar rutas
 - Habilidad para expresar políticas
 - Mayor carga en el router
- BGP (Border Gateway Protocol): *estándar de facto*
 - Algoritmo *path-vector* : Similar a distance-vector pero se anuncia el camino completo al destino (como una secuencia de ASs)
 - Los anuncios emplean conexiones TCP entre los routers



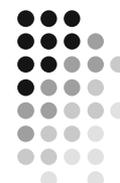
Contenido

- Funciones y servicios del nivel de red
 - Forwarding
 - Routing
 - Fragmentación y reensamblado
- Algoritmos de enrutamiento
 - Distance-vector
 - Link-State
- Enrutamiento jerárquico:
 - IGPs
 - RIP
 - OSPF
 - EGPs
- Estructura de enrutamiento en Internet



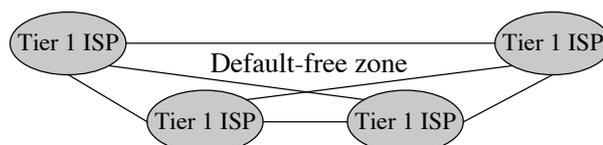
Enrutamiento en Internet

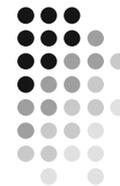
- Está influenciado fuertemente por la estructura de Internet



Estructura de Internet

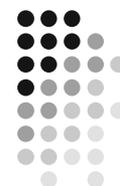
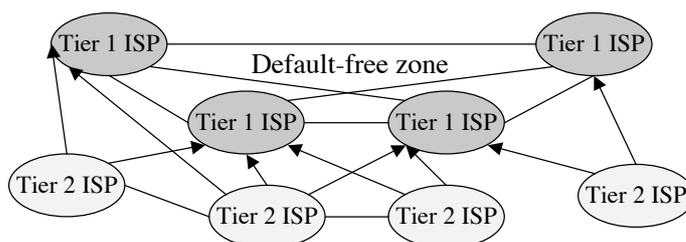
- Está influenciado fuertemente por la estructura de Internet
- Hay una jerarquía de ISPs (Internet Service Providers)
 - Tier-1 ISPs o Internet backbone networks
 - Grandes proveedores internacionales (AT&T, BBN, BT, Cable&Wireless, Sprint, UUNET...)
 - Conexión completamente mallada
 - No emplean “ruta por defecto”, tienen rutas a todas las redes (Junio04: 140.396 rutas)





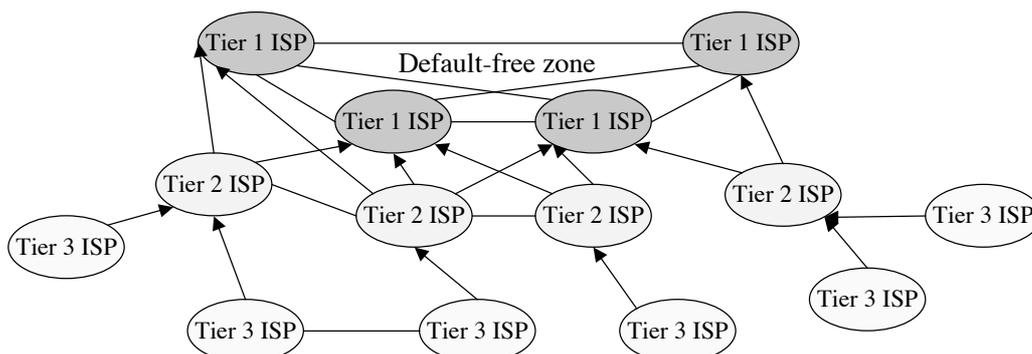
Estructura de Internet

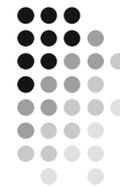
- Está influenciado fuertemente por la estructura de Internet
- Hay una jerarquía de ISPs (Internet Service Providers)
 - Tier-2 ISPs
 - Regionales o nacionales
 - Se conectan (*peering agreement*) a unos pocos tier-1 ISPs (ellos son los *clientes* y el tier-1 el *proveedor de tránsito*)
 - Se pueden conectar a otros tier-2



Estructura de Internet

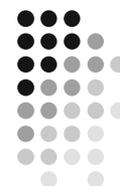
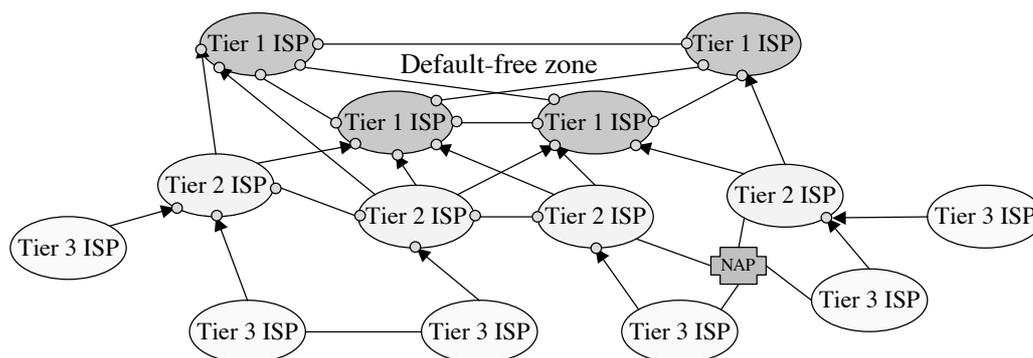
- Está influenciado fuertemente por la estructura de Internet
- Hay una jerarquía de ISPs (Internet Service Providers)
 - Tier-3 ISPs
 - ISPs locales de acceso
 - Se conectan a uno o más tier-2 y entre ellos





Estructura de Internet

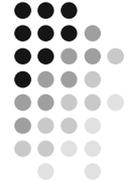
- Los puntos de la red de un ISP donde se conecta a otros IPSs se llaman Puntos de Presencia (POPs) (donde está el equipamiento)
- También se pueden conectar en NAPs (Network Access Points) o IXP (Internet eXchange Point)
 - Son redes de alta velocidad en sí mismas
 - Pretenden ahorrar €€
 - Reducir retardo
 - *Mantener local el tráfico local*
 - Ejemplos: Espanix (www.espanix.net), Linx (www.linx.net)



Resumen

- Los routers (conmutadores de paquetes) reenvían paquetes IP en función de sus tablas de rutas
- Aprenden estas tablas por medio de protocolos de enrutamiento
 - Algoritmo distance vector
 - Algoritmo link state
- La estructura de Internet es jerárquica (Tiers)
- Esto lleva a un enrutamiento jerárquico dividido en:
 - Intradomain
 - Interdomain
 - Diferente problemática para ambos

Próximo día



Direccionamiento IP El paquete IP