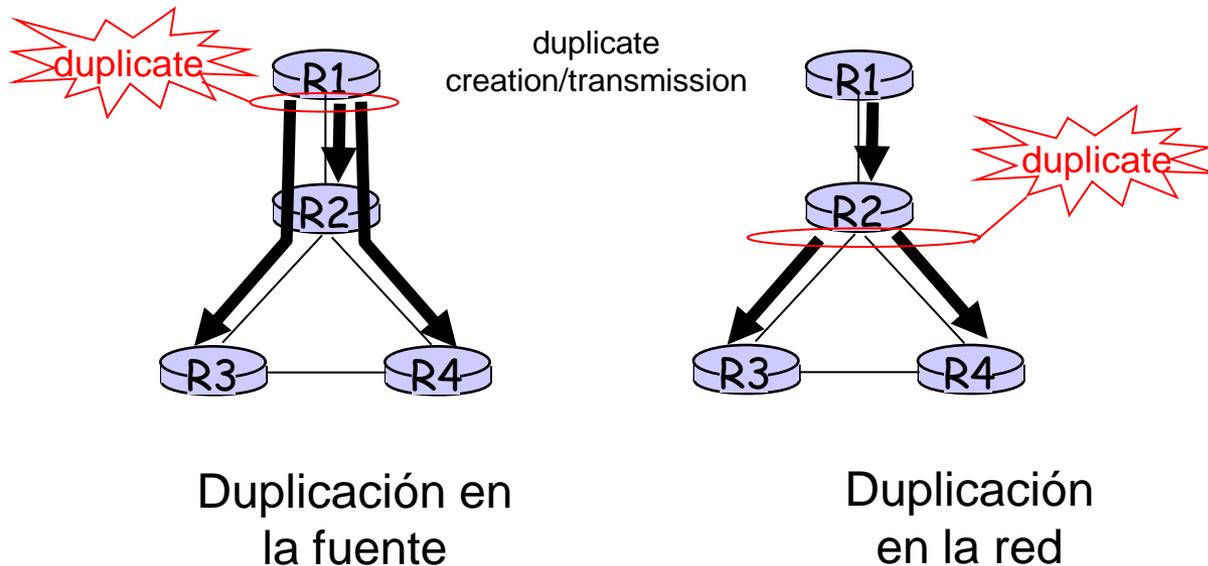


Cap. 4: Capa de red

- ❑ 4.1 Introducción
- ❑ 4.2 circuitos virtuales y datagramas
- ❑ 4.3 dentro de un router
- ❑ 4.4 IP: Internet Protocol
 - formato de datagramas
 - direccionamiento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- ❑ 4.5 Algoritmos de enrutamiento
 - Link state
 - Distance Vector
 - Enrutamiento jerárquico
- ❑ 4.6 Enrutamiento en Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- ❑ 4.7 Broadcast y multicast

Broadcast Routing

- entrega de paquetes desde la fuente a todos los nodos
- duplicación en la fuente es ineficiente:



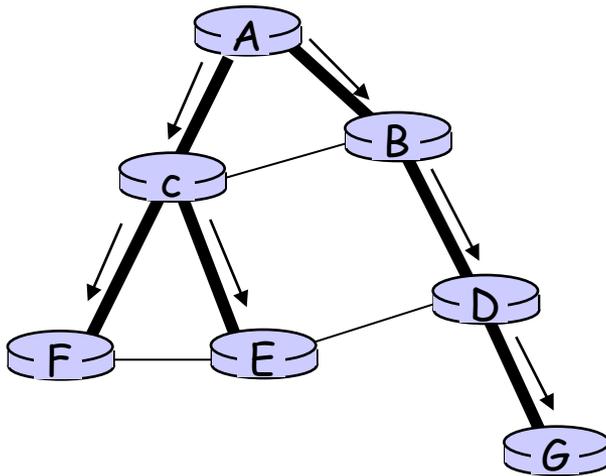
- duplicación en la fuente: como determinar la dirección de los receptores?
 - registro?

Duplicación en la red

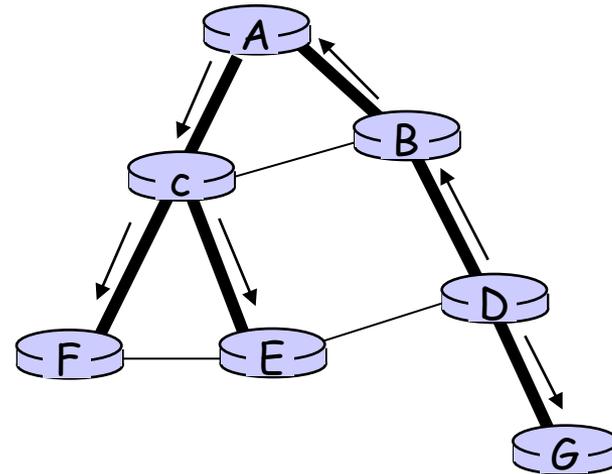
- ❑ flooding: cuando un nodo recibe un paquete, envía copias a todos sus vecinos
 - Problemas: ciclos & "tormenta" de broadcasts
- ❑ flooding controlado: el nodo solo hace broadcast de un paquete si no lo ha enviado antes
 - el nodo debe llevar la cuenta de los paquetes enviados recientemente
 - o "reverse path forwarding" (RPF): solo envía un paquete si llegó por el camino más corto entre el nodo y la fuente
- ❑ spanning tree
 - ningún nodo recibe paquetes redundantes

Spanning Tree

- primero hay que contruir el spanning tree
- los nodos envían copias solamente sobre el spanning tree



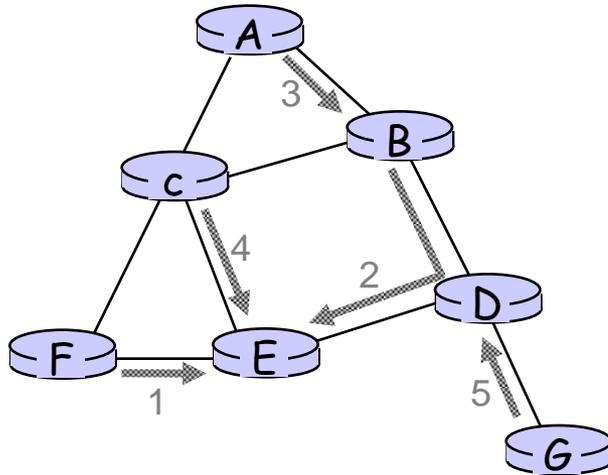
(a) Broadcast iniciado en A



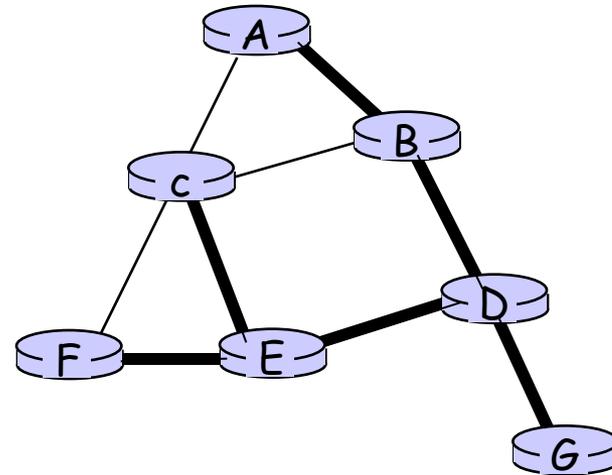
(b) Broadcast iniciado en D

Spanning Tree: creación

- nodo central o raíz
- cada nodo envía un mensaje unicast al nodo central para unirse al árbol
 - el mensaje es reenviado hasta que llega a un nodo que pertenece al spanning tree



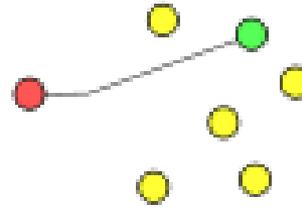
(a) Construction paso a paso del spanning tree



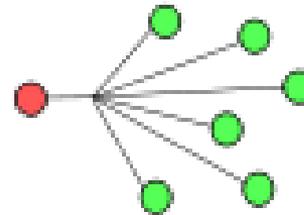
(b) Spanning tree construido

Multicast

UNICAST: UN EMISOR, UN RECEPTOR.

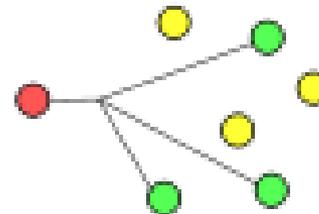


BROADCAST: UN EMISOR, TODOS LOS RECEPTORES.



ANYCAST: VARIOS EMISORES, UN RECEPTOR (*).

MULTICAST: VARIOS EMISORES, VARIOS RECEPTORES VOLUNTARIOS.



Grupos de multicast

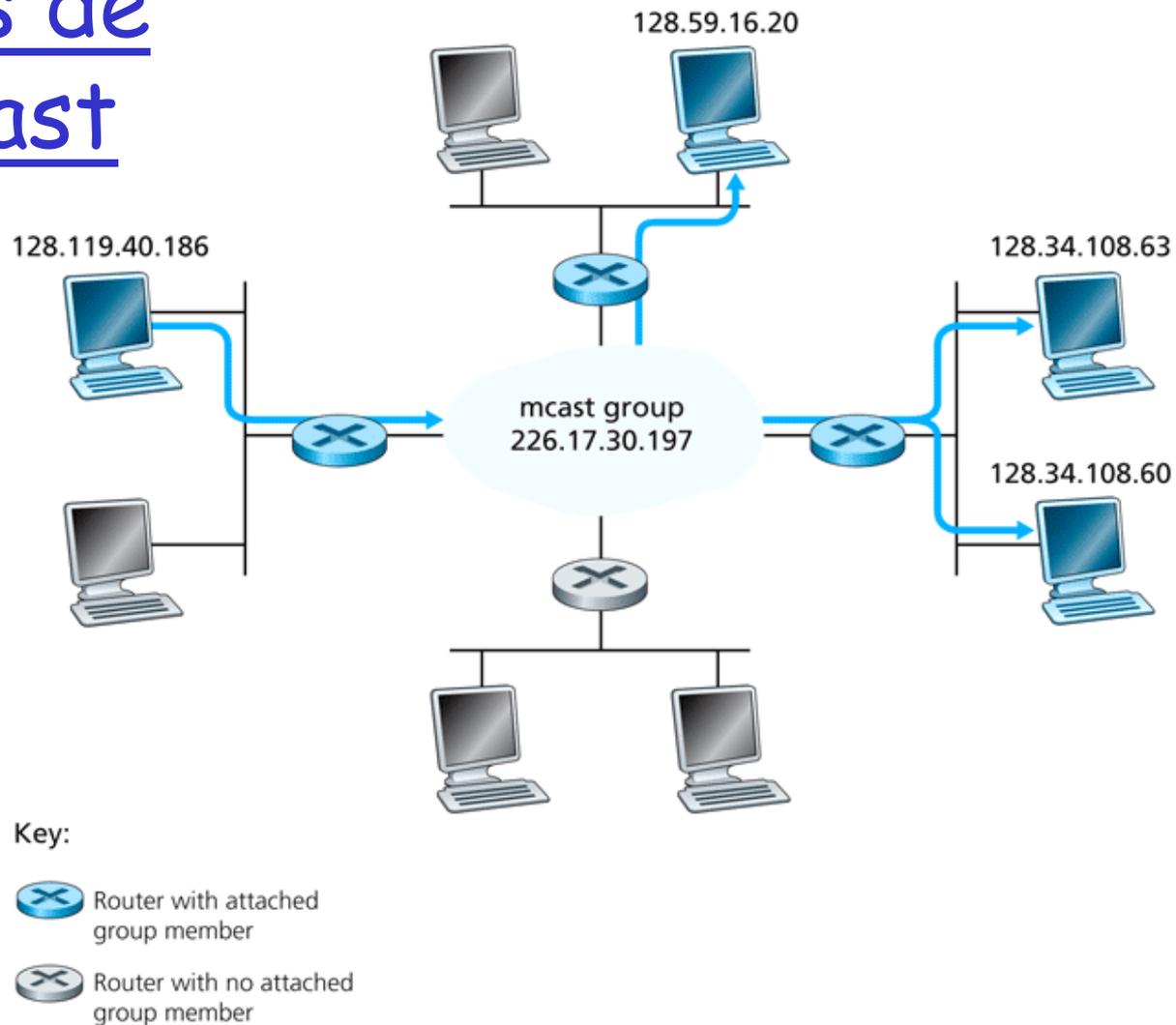
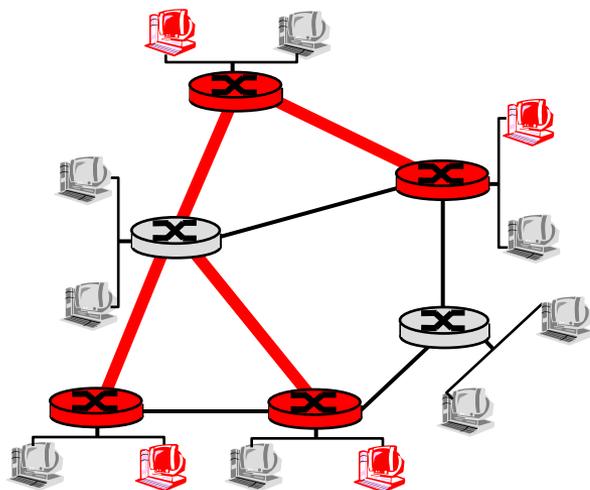


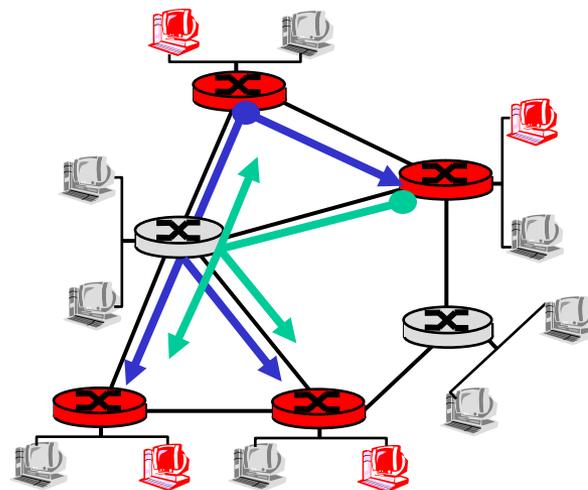
Figure 4.48 ♦ The multicast group: A datagram addressed to the group is delivered to all members of the multicast group.

Multicast Routing: el problema

- **Objetivo:** encontrar un árbol (o árboles) que conecta routers que tienen miembros de grupos de mcast
 - **árbol:** no se usan todos los caminos
 - **source-based:** árboles diferentes desde cada fuente a receptores
 - **shared-tree:** todos los miembros del grupo usan el mismo árbol



Shared tree



Source-based trees

Como se construyen los árboles de multicast?

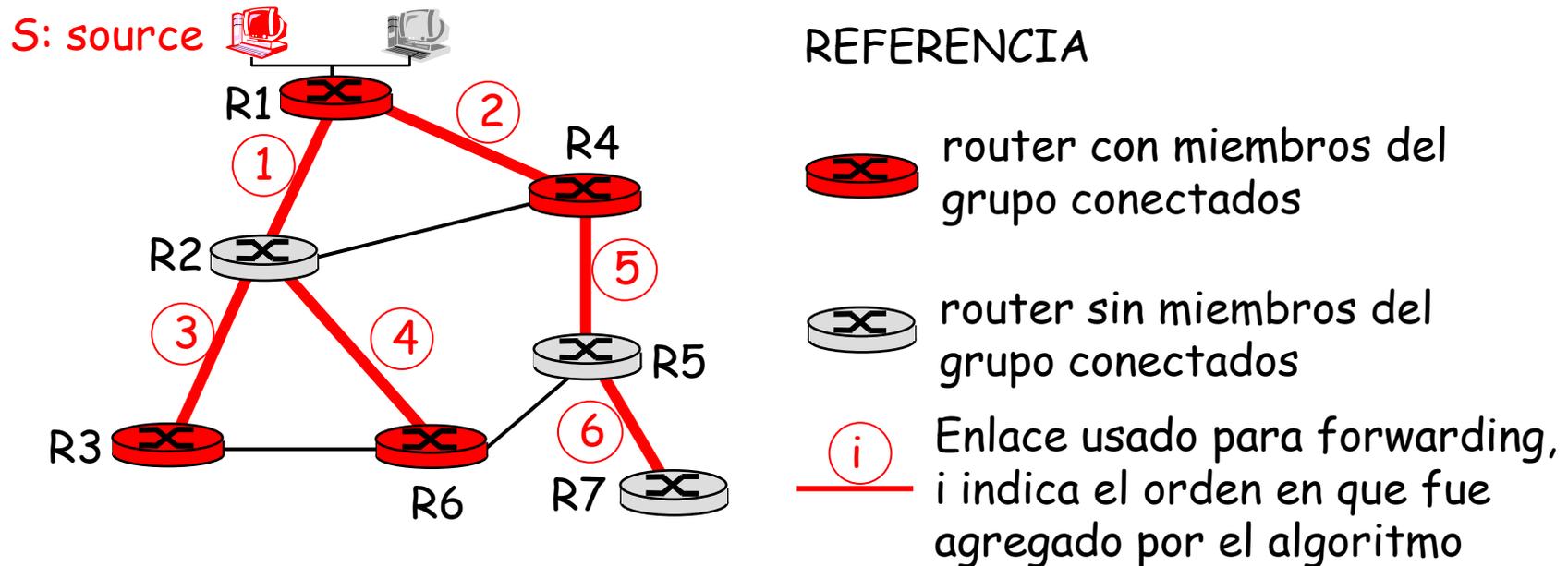
Posibilidades:

- ❑ **source-based tree:** un árbol por fuente
 - shortest path trees
 - reverse path forwarding
- ❑ **group-shared tree:** el grupo usa un único árbol
 - minimal spanning (Steiner)
 - center-based trees

...primero vamos a ver los enfoques básicos, y algunos protocolos que los implementan

Shortest Path Tree

- mcast forwarding tree: árbol de caminos más cortos desde la fuente a todos los receptores
 - Algoritmo de Dijkstra

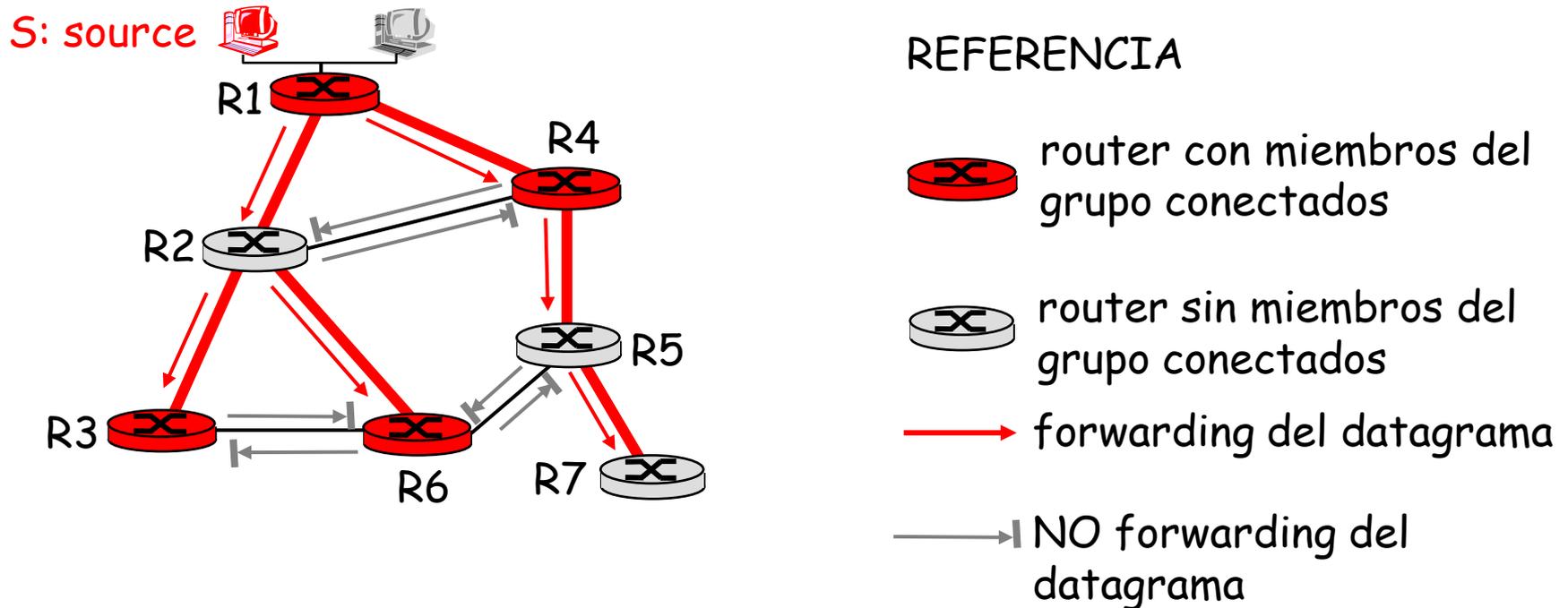


Reverse Path Forwarding

- ❑ Se basa en el conocimiento que tiene el router del "unicast shortest path" desde si mismo a la fuente
- ❑ cada router se comporta de forma simple:

if (datagrama mcast recibido en enlace entrante en el "shortest path" hacia el centro)
then "flooding" del datagrama en los enlaces de salida
else ignorar datagrama

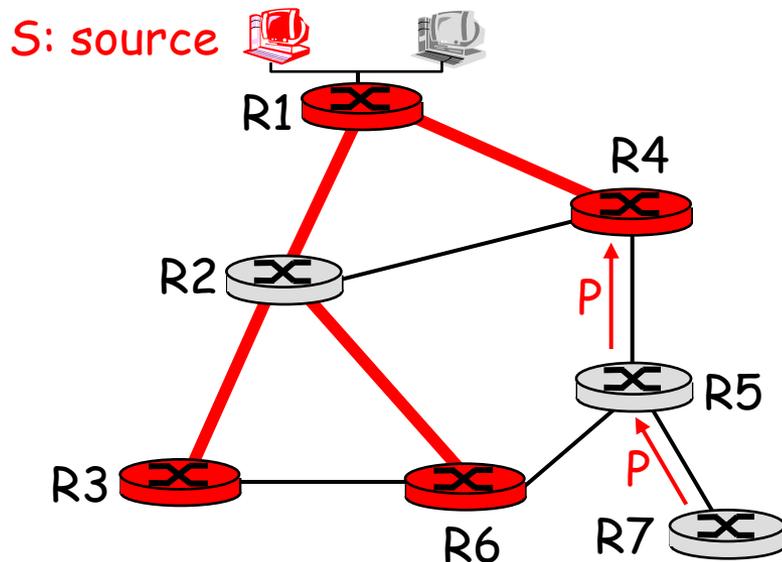
Reverse Path Forwarding: ejemplo



- el resultado es un "reverse SPT" específico para la fuente
 - puede ser una mala opción con enlaces asimétricos

Reverse Path Forwarding: pruning

- el árbol de forwarding contiene sub-árboles sin miembros del grupo de mcast conectados
 - no es necesario reenviar datagramas en estos sub-árboles
 - Los routers que no tienen miembros conectados envían mensaje "prune" (poda) "hacia atrás"



REFERENCIA

-  router con miembros del grupo conectados
-  router sin miembros del grupo conectados
-  mensaje "prune"
-  enlaces con forwarding multicast

Shared-Tree: Steiner Tree

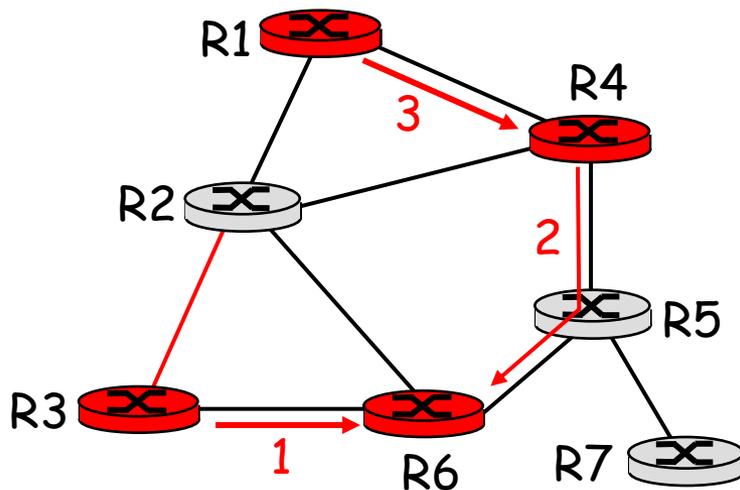
- ❑ **Steiner Tree:** árbol de costo mínimo que conecta todos los routers con miembros del grupo conectados
- ❑ problema NP-completo
 - existen buenas heurísticas para atacarlo
- ❑ no se usa en la práctica:
 - complejidad computacional
 - se necesita información de toda la red
 - monolítico: debe recalcularse cada vez que un router hace un "join"/"leave"

Center-based trees

- ❑ árbol de entrega único compartido
- ❑ un router identificado como "*centro*" del árbol
- ❑ proceso de unión (*join*):
 - Los routers de borde envían mensajes unicast *join* destinados al router central
 - el mensaje *join* es procesado por los routers intermedios y reenviados hacia el centro
 - el mensaje *join* se une a una rama existente, o llega al centro
 - el camino recorrido por el mensaje *join* se convierte en una nueva rama

Center-based trees: un ejemplo

Supongamos que R6 se elige como centro:



REFERENCIA

-  router con miembros del grupo conectados
-  router sin miembros del grupo conectados
-  recorrido de los mensajes *join*

Internet Group Management Protocol: IGMP

- hemos visto como se arman los árboles de distribución...
- ...pero todavía no sabemos como hace un host para unirse a un grupo de multicast
- **IGMP**: protocolo usado por los routers locales (los default gateways) y los hosts

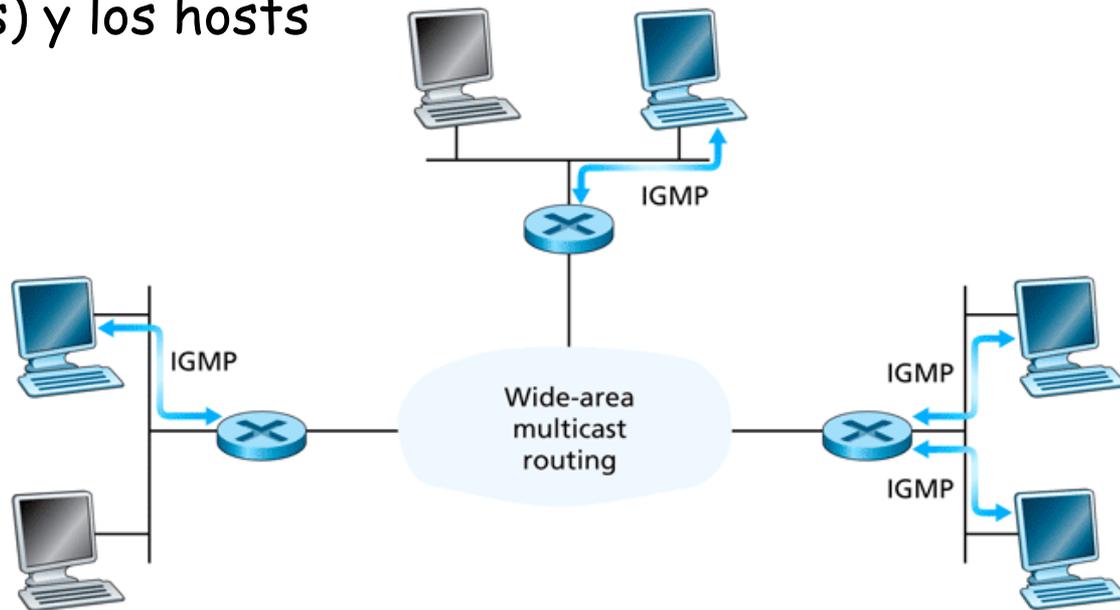


Figure 4.49 ♦ The two components of network-layer multicast in the Internet: IGMP and multicast routing protocols

IGMP

- ❑ mensajes:
 - query: desde el router a los hosts
 - membership report: desde los hosts a los routers
 - leave: desde los hosts a los routers
- ❑ el router puede hacer queries genéricos ("todos los grupos") o específicos
- ❑ los hosts pueden enviar mensajes de asociación sin esperar ser interrogados (no solicitados)
- ❑ soft state: el router mantiene una tabla de los hosts que pertenecen a cada grupo enviando queries periódicos y recibiendo las respuestas
- ❑ **IGMP**: protocolo de control análogo a ICMP para unicast

Internet Multicasting Routing: DVMRP

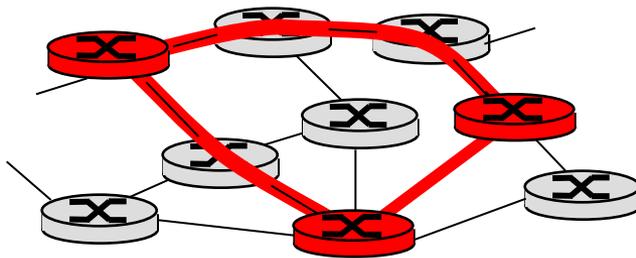
- **DVMRP**: distance vector multicast routing protocol, RFC1075
- ***flood & prune***: reverse path forwarding, source-based tree
 - árbol RPF basado en las tablas de routing de DVMRP, construida por intercambio de mensajes nativos (no se basa en unicast)
 - el datagrama inicial se envía por flooding al grupo de mcast usando RPF
 - los routers que no participan del grupo envían mensajes *prune* hacia "arriba"

DVMRP

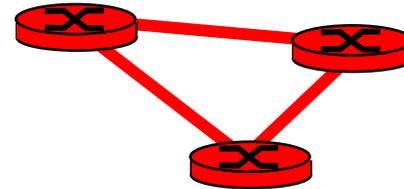
- *soft state*: los routers DVMRP “se olvidan” periódicamente (1 min.) que las ramas que están “*pruned*”:
 - se vuelven a enviar flujos mcast por esas ramas
 - los routers “downstream” (hacia abajo) tienen que volver a mandar prune o seguirán recibiendo el flujo
- los routers pueden reconectarse
 - siguiendo los *join* de IGMP en las hojas (redes locales)
- “de la vida real”
 - usualmente implementado en routers comerciales
 - usado en Mbone (también MOSPF)

Tunneling

P: cómo conectar “islas” de routers multicast en un “mar” unicast?



topología física



topología lógica

- ❑ datagramas mcast encapsulados en datagramas “normales”
- ❑ datagramas enviados a través de “túneles” usando unicast al receptor mcast
- ❑ receptor mcast de-encapsula los datagramas

PIM: Protocol Independent Multicast

- ❑ no depende en ningún algoritmo de routing unicast específico (funciona con todos)
- ❑ dos escenarios de distribución multicast :

Dense:

- ❑ miembros del grupo "densamente empaquetados", o cercanos
- ❑ mucho ancho de banda disponible

Sparse:

- ❑ # de routers con miembros del grupo conectado es pequeño con respecto al # total de routers
- ❑ miembros "muy dispersos"
- ❑ menos ancho de banda disponible

Consecuencias de la dicotomía

Sparse-Dense:

Dense

- ❑ membresía de los routers al grupo *se asume* hasta que se ejecuta un *prune* explícito
- ❑ la construcción del árbol mcast es *data-driven* (p. ej., RPF)
- ❑ *derroche* de recursos (ancho de banda y membresía)

Sparse:

- ❑ membresía explícita via *join*
- ❑ la construcción del árbol mcast es *receiver-driven* (p.ej., center-based)
- ❑ uso *conservador* de los recursos

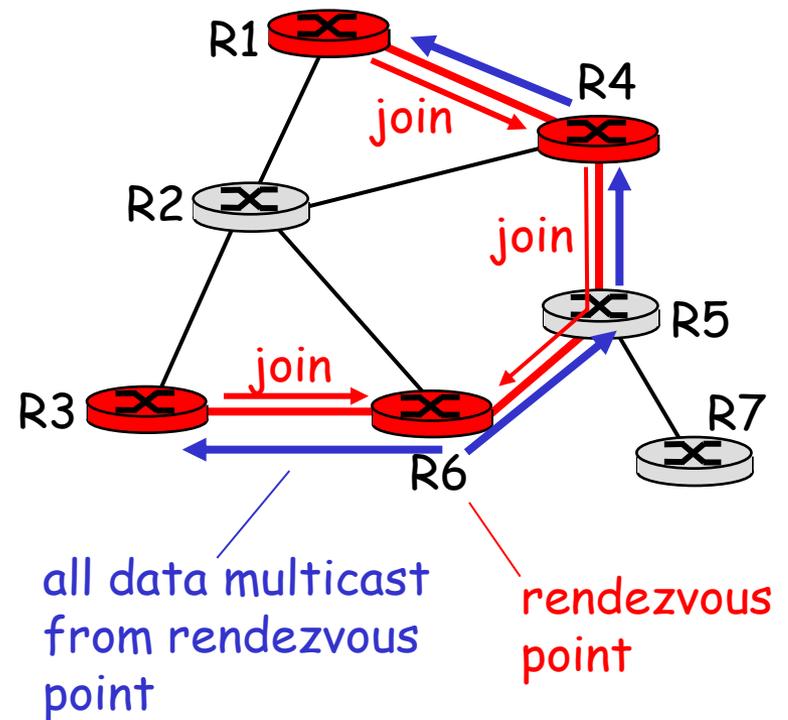
PIM- Dense Mode

flood-and-prune RPF, similar a DVMRP,
pero...

- ❑ el protocolo unicast de base provee la información RPF para el datagrama entrante
- ❑ el mecanismo de flooding "hacia abajo" (downstream) es más sencillo (y menos eficiente) que en DVMRP, y por lo tanto no depende tanto del protocolo de base
- ❑ tiene un mecanismo para detectar los nodos "hoja" (leaf-node router)

PIM - Sparse Mode

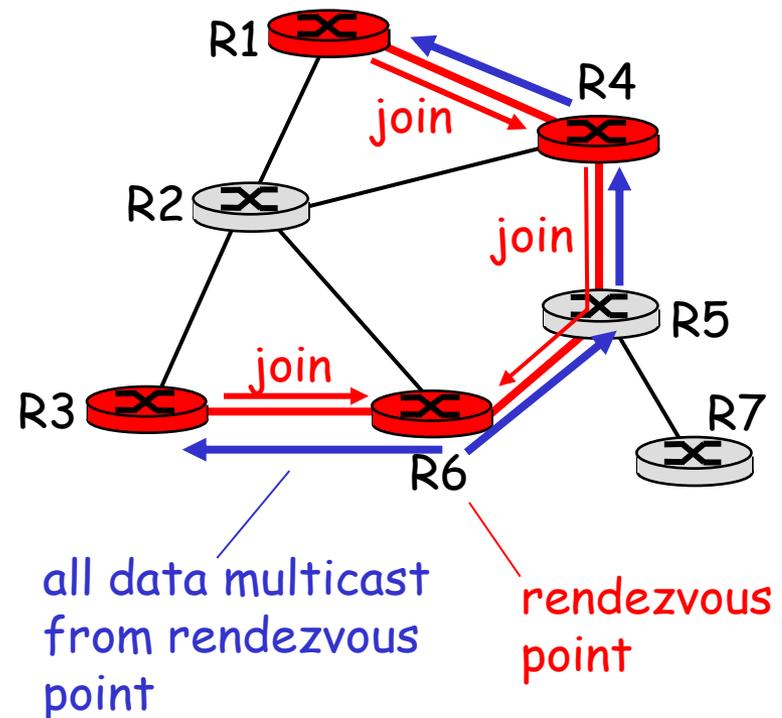
- ❑ center-based
- ❑ router envía mensaje *join* a un rendezvous point (RP)
 - routers intermedios actualizan su estado y reenvían el *join*
- ❑ luego de asociarse via RP, un router puede cambiarse a un árbol source-specific
 - mejora la performance: menor concentración, caminos más cortos



PIM - Sparse Mode

fuente(s):

- ❑ datos unicast al RP, quien distribuye en el árbol del cual es raíz
- ❑ el RP puede extender los árboles mcast "hacia arriba" hasta la fuente
- ❑ el RP puede enviar mensaje *stop* si no hay receptores
 - "nadie está escuchando!"



Cap. 4: Capa de red

- ❑ 4.1 Introducción
- ❑ 4.2 circuitos virtuales y datagramas
- ❑ 4.3 dentro de un router
- ❑ 4.4 IP: Internet Protocol
 - formato de datagramas
 - direccionamiento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- ❑ 4.5 Algoritmos de enrutamiento
 - Link state
 - Distance Vector
 - Enrutamiento jerárquico
- ❑ 4.6 Enrutamiento en Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- ❑ 4.7 Broadcast y multicast