

T6 – Protocolos de encaminamiento

Redes de Comunicaciones
Móviles

Curso 2025 - 2026

Índice

- *Mobile IP* Protocolo de la capa de red que permite que un dispositivo siga usando su misma dirección IP aunque cambie de red.
- *Protocolos de encaminamiento en redes inalámbricas Ad-Hoc*
- *Protocolos de encaminamiento en redes de sensores*
- *Material parcialmente adaptado de las transparencias publicadas por J.F Kurose and K.W. Ross. Computer Networking: A Top Down Approach*

Mobile IP

Introducción

- ¿Qué es movilidad?
 - Desde una perspectiva de red

Sin movilidad



Usuarios que utilizan el mismo punto de acceso

Usuarios que se conectan/desconectan de la red utilizando DHCP (nomadismo)

Alta movilidad



Usuarios que se pasan a través de múltiples redes sin perder la conexión

Mobile IP

Introducción

- *En los inicios de Internet, el concepto de 'mobile computers' no existía*
- *Los avances tecnológicos han propiciado la necesidad de permanecer conectados a la red mientras nos desplazamos*
- *IP es el protocolo utilizado Internet para llevar un paquete de datos de origen a un destino, atravesando diferentes redes → la movilidad debe ser soportada en la capa de red*

Mobile IP

Introducción

- *Las direcciones IP están diseñadas para trabajar con nodos estacionarios*
 - *El prefijo de red indica la subred a la que pertenece el host*
- *¿Qué implica el cambio de subred ?*
 - *Cambio de la dirección IP (nueva subred), o*
 - *Establecer entradas especiales en las tablas de enrutamiento para reenviar paquetes a la nueva subred*
- *¿Por qué no se puede cambiar la dirección IP mientras se ejecuta una aplicación de red?*

Mobile IP

Introducción

- *Cambio de la dirección IP*
 - *DHCP proporciona una nueva IP cuando el dispositivo llega a una nueva red, pero dicha dirección no puede ser conocida por el resto*
 - *DNS dinámico para asociar una IP dinámica a un dominio estático → la actualización en las tablas DNS puede tardar bastante tiempo*
 - *Las conexiones TCP abiertas finalizan abruptamente*
 - *Problemas de seguridad*
- *Cambios en las tablas de enrutamiento*
 - *Implica demasiados cambios debido al gran número de dispositivos móviles y la frecuencia con los que un usuario cambia su ubicación*
 - *No escalable*

Mobile IP

Introducción

- *Requerimientos para Mobile IP*
 - Compatibilidad
 - *El nuevo estándar no puede introducir cambios en los dispositivos finales e intermedios actuales*
 - *Utiliza los mismos protocolos de capa 2*
 - Transparencia
 - *El dispositivo móvil mantiene su IP → no actualización DNS*
 - *El punto de conexión a la red fija puede cambiar*
 - *La comunicación continúa después de la interrupción del enlace*

Mobile IP

Introducción

- Requerimientos para Mobile IP
 - Escalable
 - No debe generar demasiados mensajes (*low bandwidth*)
 - Soporte de una gran número de nodos móviles
 - Seguridad
 - Todos los mensajes en el proceso de registro deben ser autenticados

Mobile IP

Terminología

- Mobile Node (MN)
 - Nodo que puede cambiar su punto de conexión a la red/desplazarse a través de varias redes sin cambiar su dirección de red
- Home Agent (HA)
 - Sistema en la red a la que pertenece el MN, registra su localización y envía los datagramas IP (túnel) a la COA (Care-of-address) → Dirección Temporal
 - Reenvía los paquetes a la apropiada red cuando el MN no está en su red
 - Router con funcionalidades añadidas

Mobile IP

Terminología

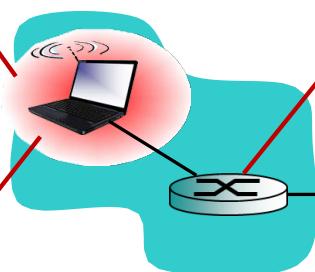
- Foreign Agent (FA)
 - Sistema en la red lejana donde actualmente está el MN
 - Reenvía (túnel) los paquetes a/desde MN provinientes de/hacia HA
 - Router con funcionalidades añadidas
- Care-of Address (COA)
 - Dirección IP del MN en el extremo del túnel (en la red remota)
 - Implica la identificación del MN en la red actual
 - Asignada por FA
- Correspondent Node (CN)
 - Nodo con el que se comunica el MN

Mobile IP

Terminología

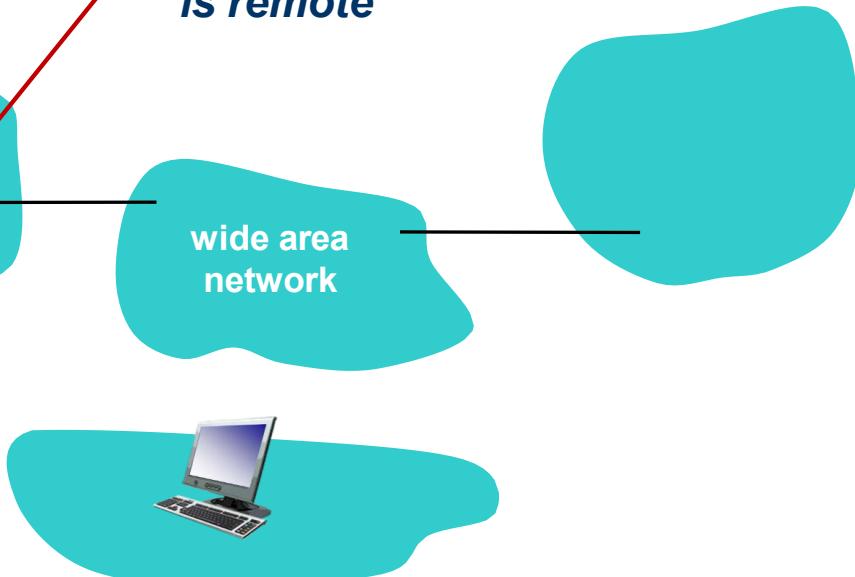
home network:
permanent 'home' of
mobile
(e.g., 128.119.40/24)

HN



permanent address:
address in home
network, *can always*
be used to reach
mobile
e.g., 128.119.40.186

home agent: entity that will
perform mobility functions on
behalf of mobile, when mobile
is remote



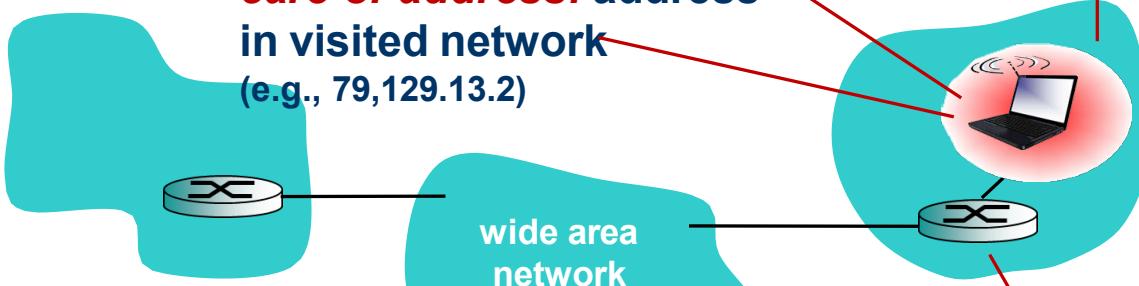
Mobile IP

Terminología

permanent address: remains constant (e.g., 128.119.40.186)

visited network: network in which mobile currently resides (e.g., 79.129.13/24)

care-of-address: address in visited network (e.g., 79.129.13.2)



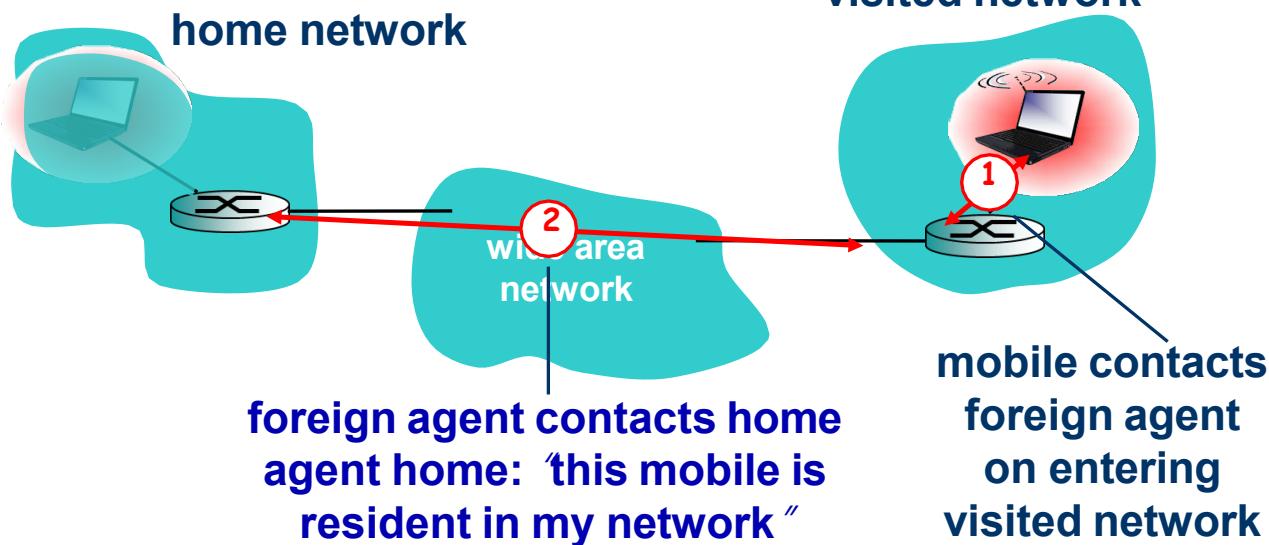
correspondent:
wants to
communicate with
mobile

foreign agent: entity in visited network that performs mobility functions on behalf of mobile.

Mobile IP

Introducción

- *Registro*



- FA conoce la dirección de MN y le asigna la COA
- HA conoce la ubicación de MN

Mobile IP

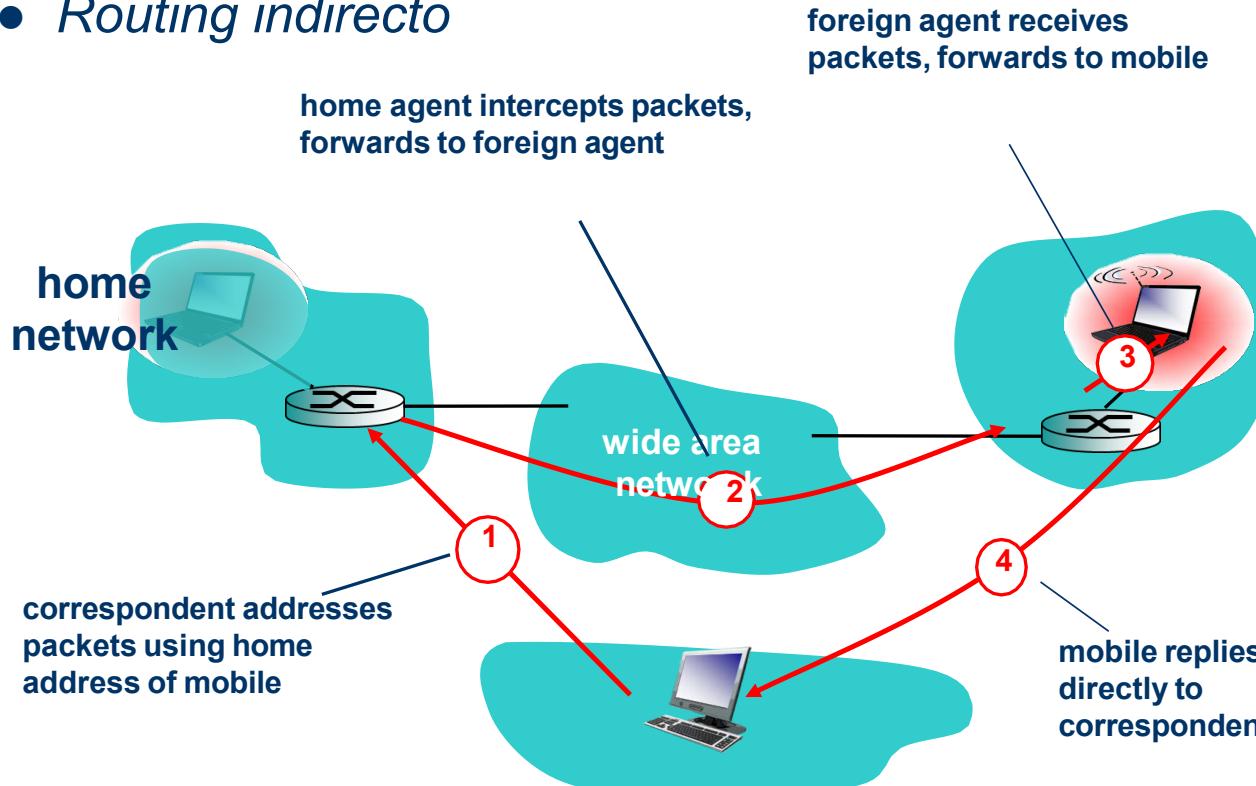
Routing

- Los MN tienen dos direcciones IP
 - Home address (permanente)
 - Care-of address (cambia cuando el MN se mueve de una red a otra)
- ¿Cómo se envían los paquetes de datos al MN?
 - *Routing indirecto* → La comunicación hacia al MN se realiza a través del HA
 - *Routing directo* → CN obtiene la COA y se comunica directamente con el MN

Mobile IP

Routing

- *Routing indirecto*

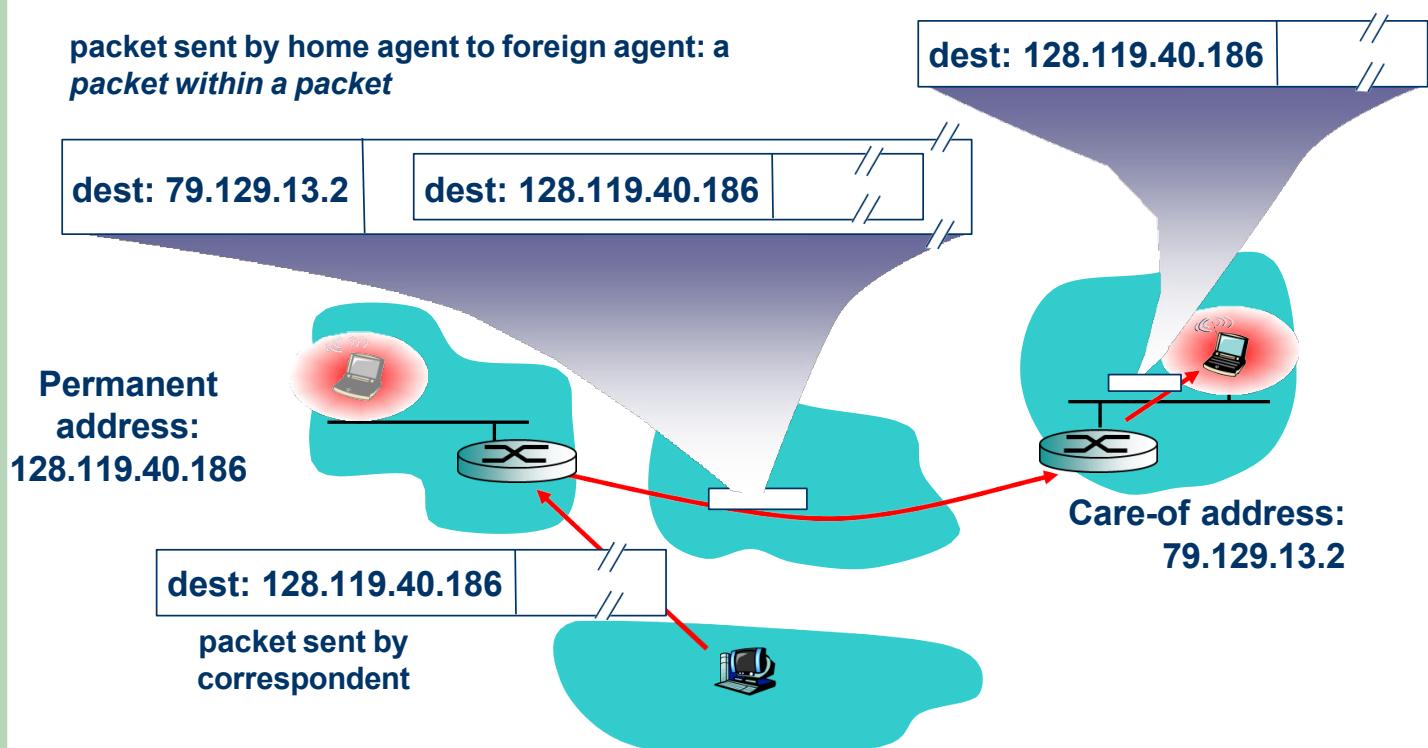


Mobile IP

Routing

- *Routing indirecto*

packet sent by home agent to foreign agent: a
packet within a packet



Mobile IP

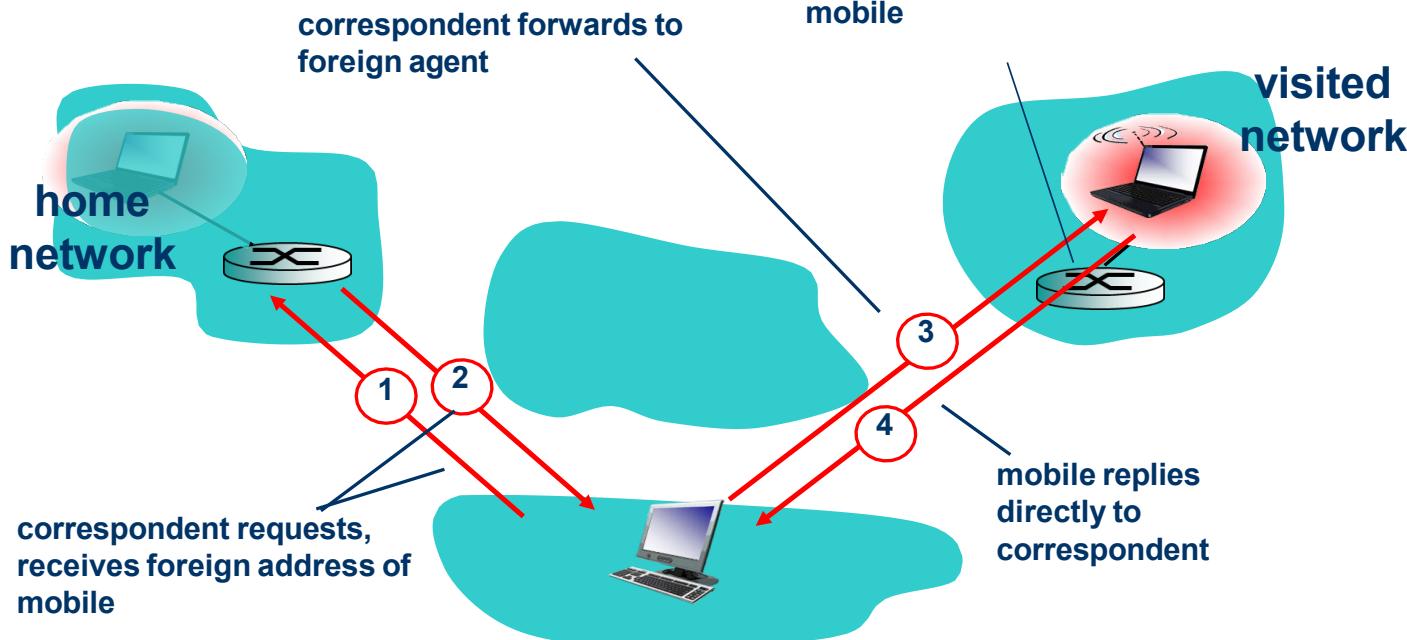
Routing

- *Routing indirecto*
 - *Enrutamiento triangular → CN – HA – MN*
 - *Ineficiente cuando CN y MN están en la misma red*
 - *Latencia*
 - *Suponer que el MN se desplaza a otra red*
 - *MN se registra con un nuevo FA*
 - *El nuevo FA se lo indica al HA y al viejo FA*
 - *HA actualiza la nueva COA asignada MN*
 - *Los paquetes continúan reenviándose al MN, pero con la nueva COA*
 - *El cambio de FA es transparente → las conexiones pueden permanecer establecidas*

Mobile IP

Routing

- *Routing directo*



Mobile IP

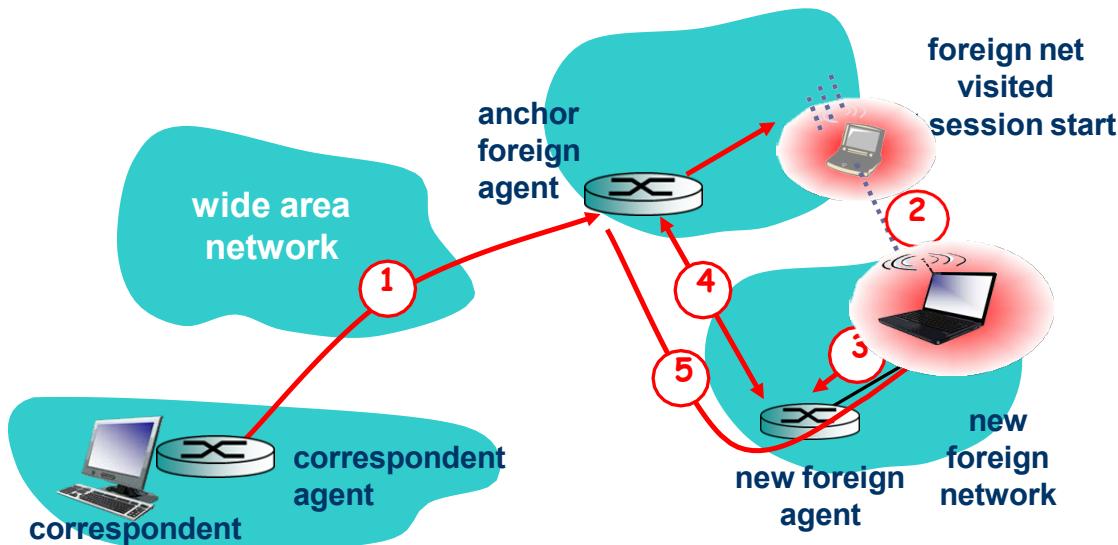
Routing

- *Routing directo*
 - Se evita el problema del enrutamiento triangular
 - CN tiene que solicitar la COA al HA
 - ¿Y si MN cambia de red ?
 - Establecer un protocolo para notificar al CN el cambio de COA → pérdida de sesión
 - Utilizar el primer FA (cuando la sesión comenzó) como AFA (Anchor foreing agent)
 - Los datos son siempre enviados al AFA
 - Si MN se mueve a otra red, los datos son enviados del AFA al nuevo FA

Mobile IP

Routing

- *Routing directo*



Mobile IP

Protocolo

- *RFC 5944 (IP Mobility Support for IPv4)*
- *El estándar define los elementos que se han visto:*
 - *Home agents, Foreign agents, care-of address, encapsulación*
- *Abarca tres aspectos principales:*
 - *Descubrimiento de agentes*
 - *Registro con home agent*
 - *Routing indirecto*

Mobile IP

Protocolo

- *Descubrimiento de agentes*
 - *El MN debe saber si está en su red o en una red externa*
 - *El descubrimiento se puede hacer de dos formas:*
 - *Anuncios de los agentes (agent advertisement)*
 - *FA o HA anuncia sus servicios utilizando una extensión del protocolo de descubrimiento de routers (RFC 1256)*
 - *Broadcast periódicos de paquetes ICMP (tipo 9) con un extensión para información adicional (COA, ...)*
 - *MN detecta si es su HA o FA*
 - *Solicitud (agent solicitation)*
 - *MN envía un mensaje broadcast solicitando agentes (paquete ICMP tipo 10)*
 - *Un agente que reciba la solicitud enviará un mensaje de anuncio de agente (agent advertisement) al MN*

Mobile IP

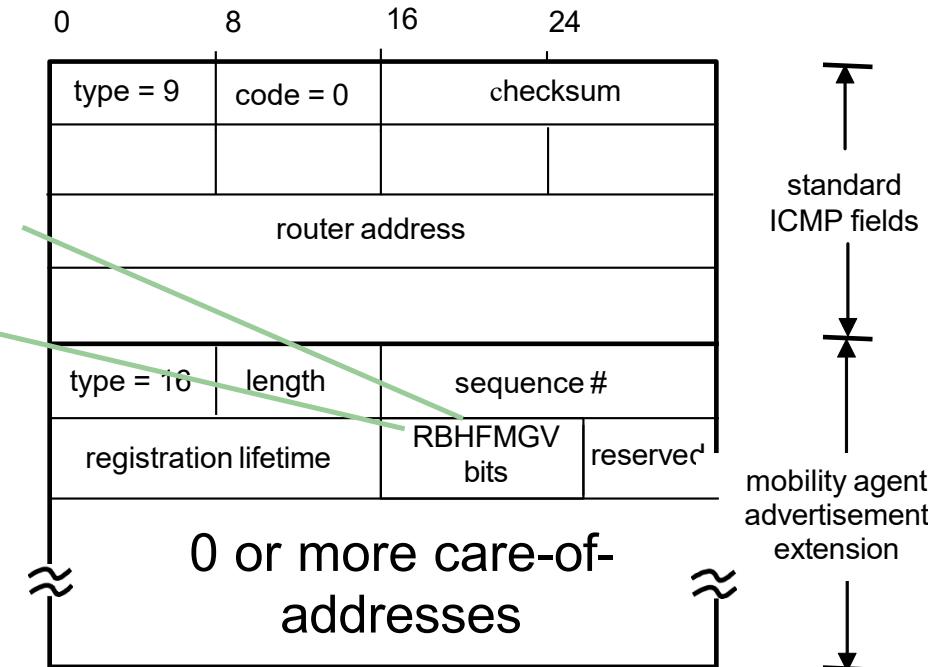
Protocolo

- Descubrimiento de agentes
 - Formato agent advertisement

H,F bits: home and/or foreign agent

R bit: registration required

↑
si me quiero registrar



Mobile IP

Protocolo

- *Registro con HA*

- *Después de recibir el COA (agent advertisement message), la dirección tiene que ser registrada en el HA. Pasos:*
 - 1. MN envía un mensaje de registro al FA (UDP 434)
 - COA, HA y dirección permanente, tiempo de validez,...
 - 2. FA vincula COA con la IP permanente → un paquete recibido con la COA viene encapsulado
 - Envía un mensaje de registro al HA (UDP 434)
 - COA, HA y dirección permanente, formato de encapsulado, tiempo de validez,...
 - 3. HA vincula IP permanente de MN con la COA
 - Paquetes dirigidos a la IP permanente se reenvían a la COA utilizando encapsulamiento IP
 - 4. FA recibe la respuesta de registro y lo reenvía a MN

Mobile IP

- Registro con HA – Formato Request

Type	Flag	Lifetime
	Home address	dirección permanente
	Home agent address	
	Care-of address	
	Identification	
	Extensions ...	

- *Tipo 1*

Registration request flag field bits

Bit	Meaning
0	Mobile host requests that home agent retain its prior care-of address.
1	Mobile host requests that home agent tunnel any broadcast message.
2	Mobile host is using colocated care-of address.
3	Mobile host requests that home agent use minimal encapsulation.
4	Mobile host requests generic routing encapsulation (GRE).
5	Mobile host requests header compression.
6–7	Reserved bits.

Mobile IP

- *Registro con HA – Formato Response*

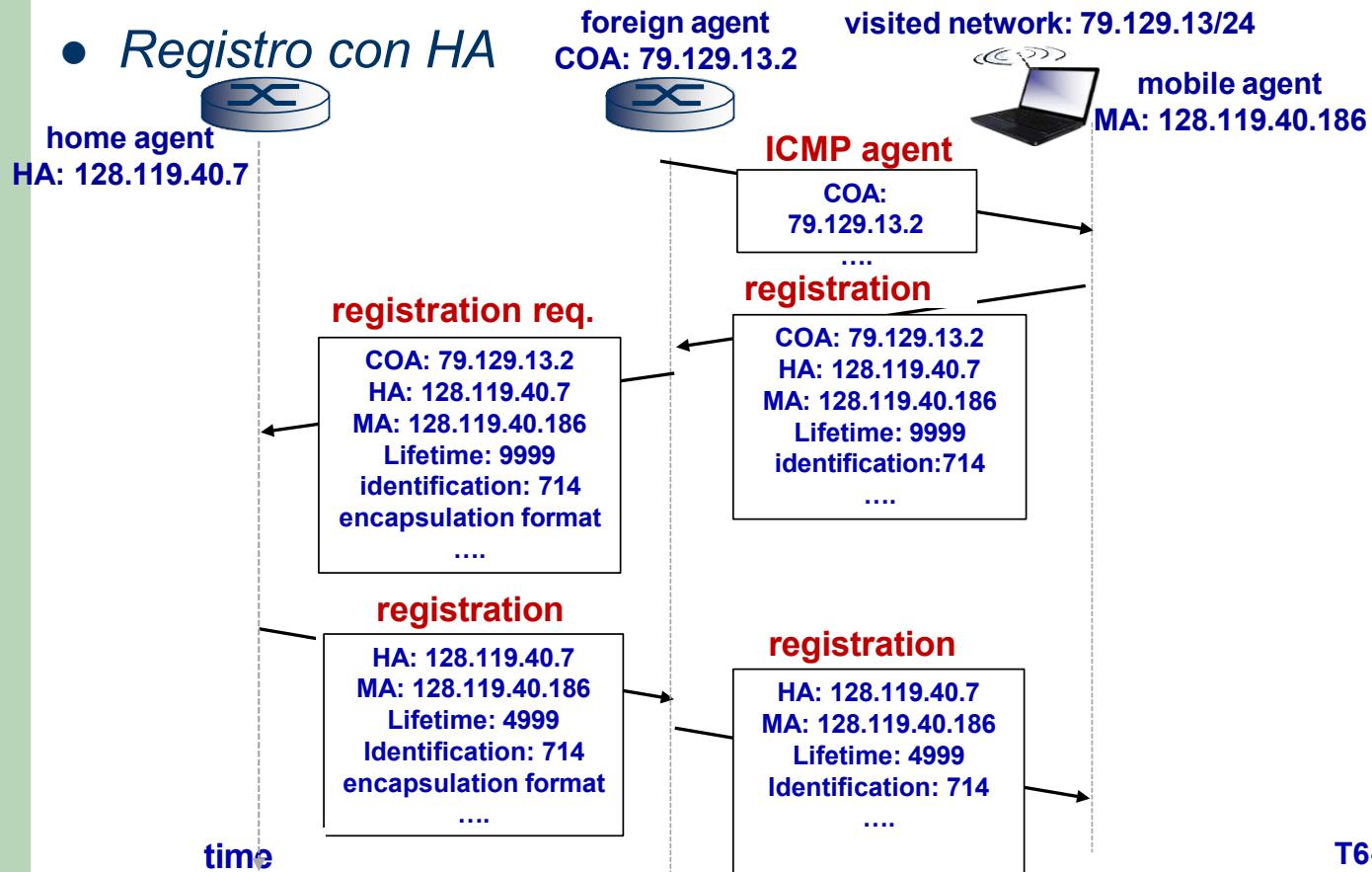
Type	Code	Lifetime
	Home address	
	Home agent address	
	Identification	
	Extensions ...	

- *Tipo 3*
- *El código indica el resultado del proceso registro*
 - 0 – aceptado
 - 133 identificación fallida en el HA,
 - ...

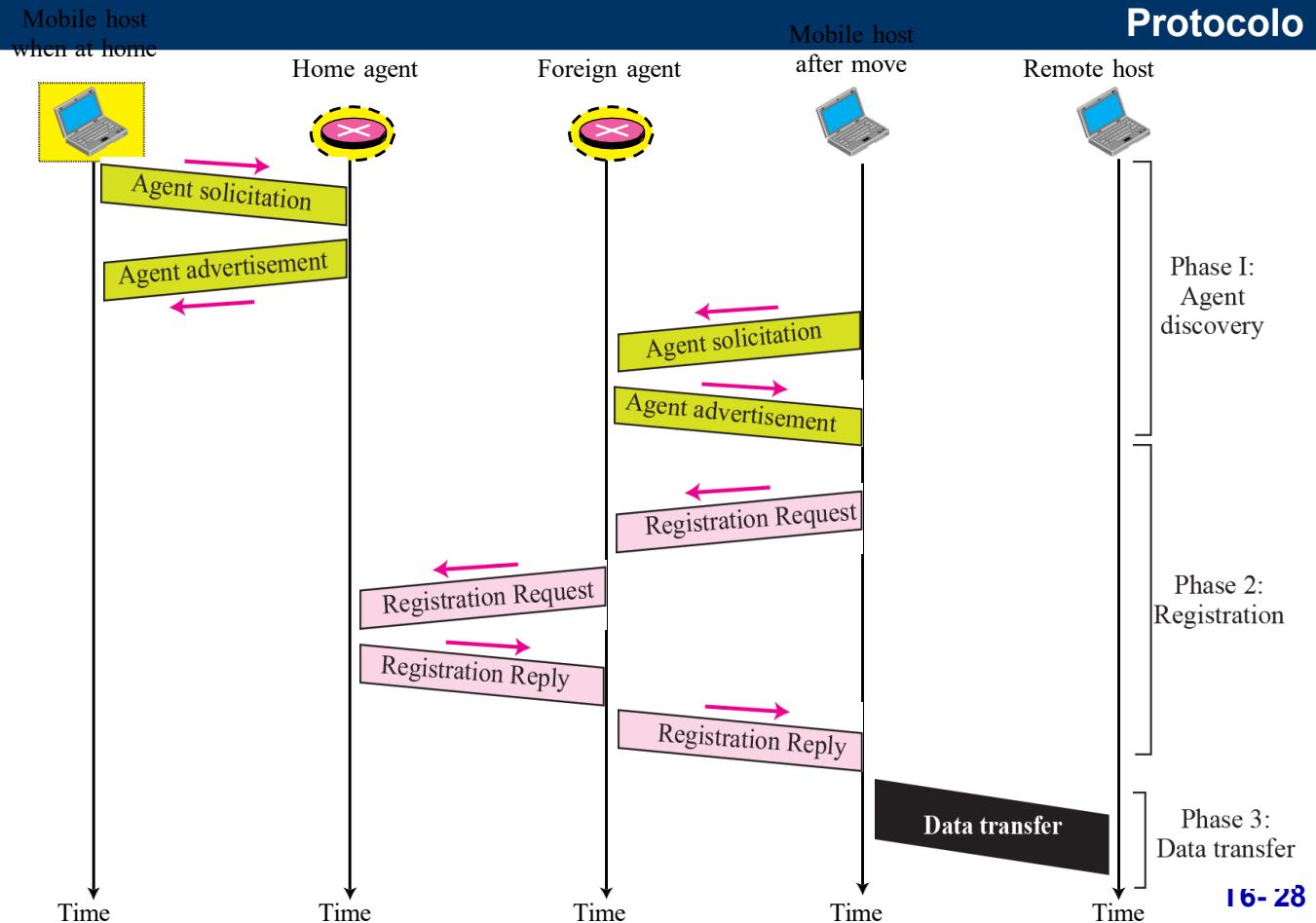
Mobile IP

Protocolo

- Registro con HA

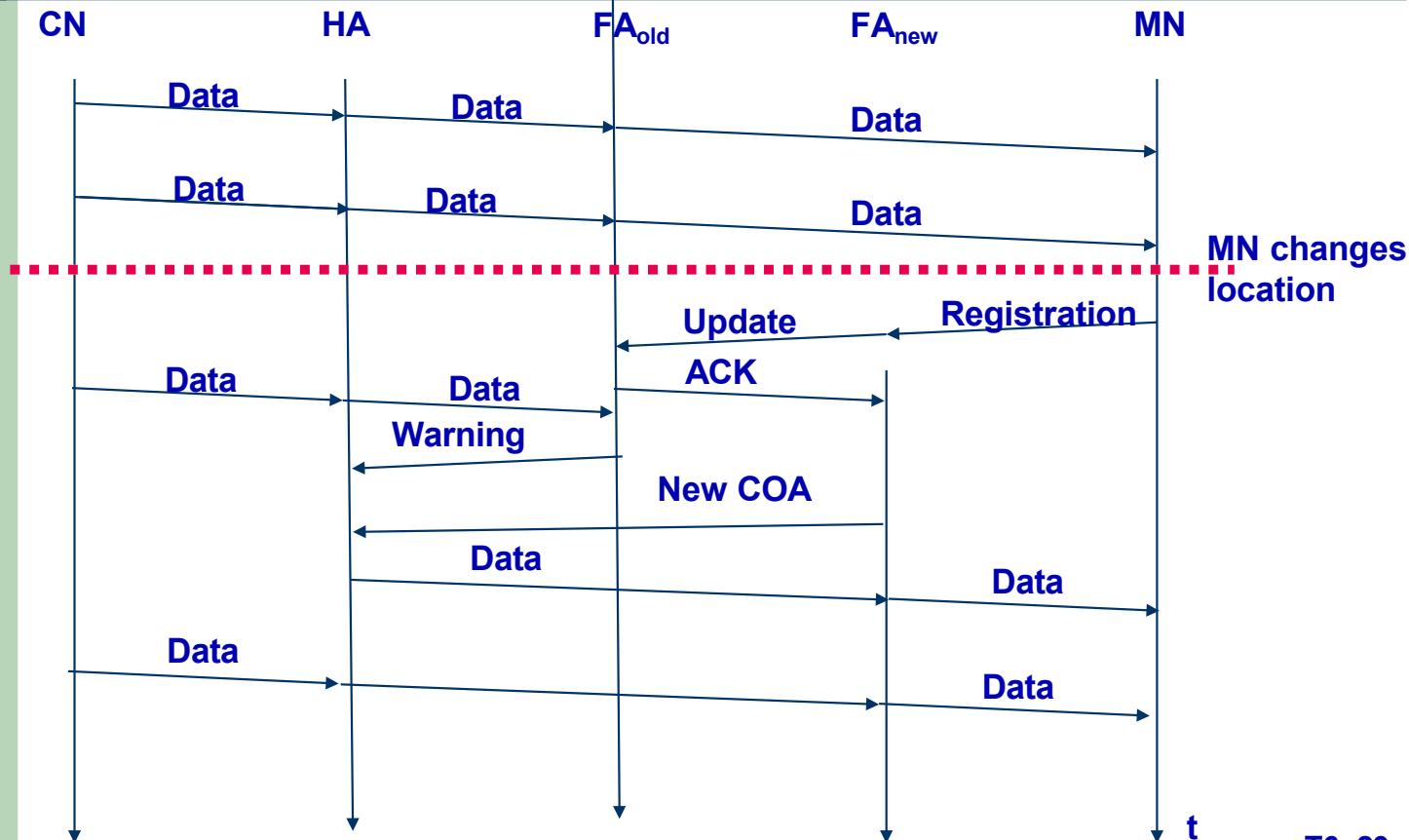


Mobile IP



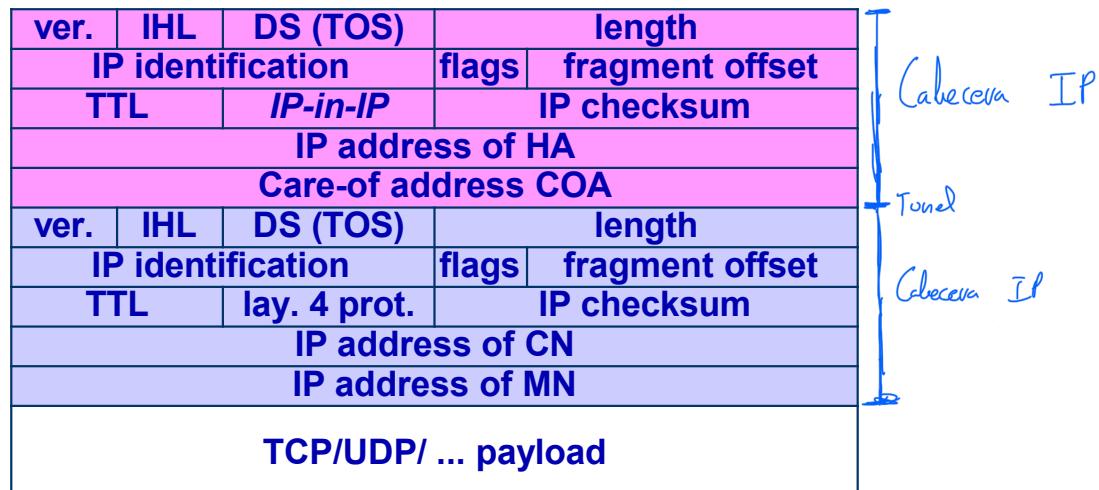
Mobile IP

Cambio de red



Mobile IP

- *Encapsulación*
 - *IP-in-IP-encapsulation (RFC 2003)*
 - Túnel entre HA y FA



Protocolos de encaminamiento Adhoc

Introducción

- *Redes adhoc*

MANET

- *Redes sin infraestructura*
- *No hay conexiones cableadas*
- *Los nodos tienen capacidad de desplazamiento → distribución flexible y varía dinámicamente*
- *Los nodos tienen funcionalidades de router*

Protocolos de encaminamiento Adhoc

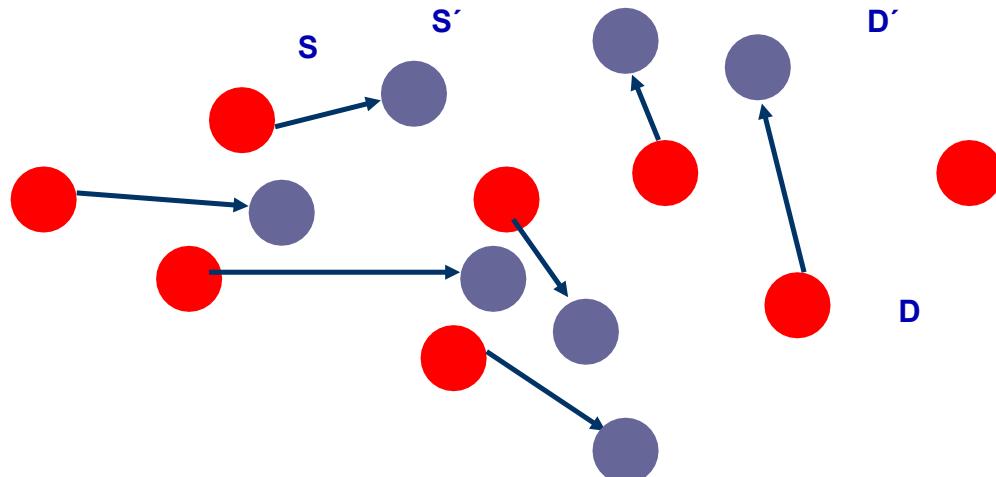
Introducción

- *Problemas en redes adhoc*
 - *Escalabilidad*
 - *QoS*
 - *Seguridad*
 - *Tiempo de vida limitado*
 - *Mantenimiento de rutas*
 - *Propiedades cambiantes de los enlaces*
 - *Problema del terminal oculto*

Protocolos de encaminamiento Adhoc

Introducción

- *Problema de enrutamiento Adhoc*
 - *Encontrar una ruta de S a D cuando varios nodos tienen capacidad de movimiento*
 - *Tarea complicada (cobertura, múltiples saltos, ...)*



Protocolos de encaminamiento Adhoc

Introducción

- *Propiedades de un protocolo enrutamiento adhoc*
 - Simple → carga computacional y espacio de almacenamiento
 - Mensajes de control cortos → minimizar sobrecarga en la red
 - Evitar la aparición de bucles
 - Consumo energético reducido
 - Mecanismo rápido de re-routing

Protocolos de encaminamiento Adhoc

Introducción

- *Clasificación*
 - *Protocolo*
 - *Proactivos (Table-driven)*
 - *Reactivos (Source-initiated on-demand)*
 - *Híbridos*
 - *Algoritmo*
 - *Estado de enlace (Link-State)*
 - *Cada nodo conoce la topología de la red*
 - *Vector distancia (Distance-Vector)*
 - *Cada nodo conoce la distancia a cada destino*

Protocolos de encaminamiento Adhoc

Clasificación

- *Protocolos proactivos*
 - *Basados en el intercambio periódico de mensajes de control y mantenimiento de las tablas*
 - *Hay un intercambio proactivo de las tablas entre los nodos → Cada nodo conoce las rutas para alcanzar al resto de nodos*
 - *Routing inmediato*
 - *Genera un gran volumen de mensajes de control y puede consumir una gran parte del ancho de banda disponible*
 - *Si hay muchos nodos con cierta movilidad → muchos mensajes de control*

Protocolos de encaminamiento Adhoc

Clasificación

- *Protocolos reactivos*
 - *La ruta es descubierta sólo cuando se necesita (on-demand)*
 - *Generan menos tráfico de control*
 - *Cuando no hay una ruta a un destino, el tiempo de descubrimiento de dicha ruta es elevado*
 - *Se genera un retardo en las aplicaciones (latencia)*
 - *Útil cuando el número de sesiones/conexiones es más bajo que el número de nodos*

Protocolos de encaminamiento Adhoc

Clasificación

- *Algoritmos de estado de enlace*
 - Cada router envía mensajes de estado de enlace (LSP) a los vecinos (coste para alcanzar cada una de sus redes directamente conectadas)
 - Siempre que un router recibe un LSP de un vecino, éste lo envía de inmediato por todas las interfaces, excepto por la interfaz que recibió el LSP
 - Tras unas iteraciones, todos los routers tienen todos los LSP de cada router (todos los nodos **conocen la topología** de la red y el coste de los enlaces)

Protocolos de encaminamiento Adhoc

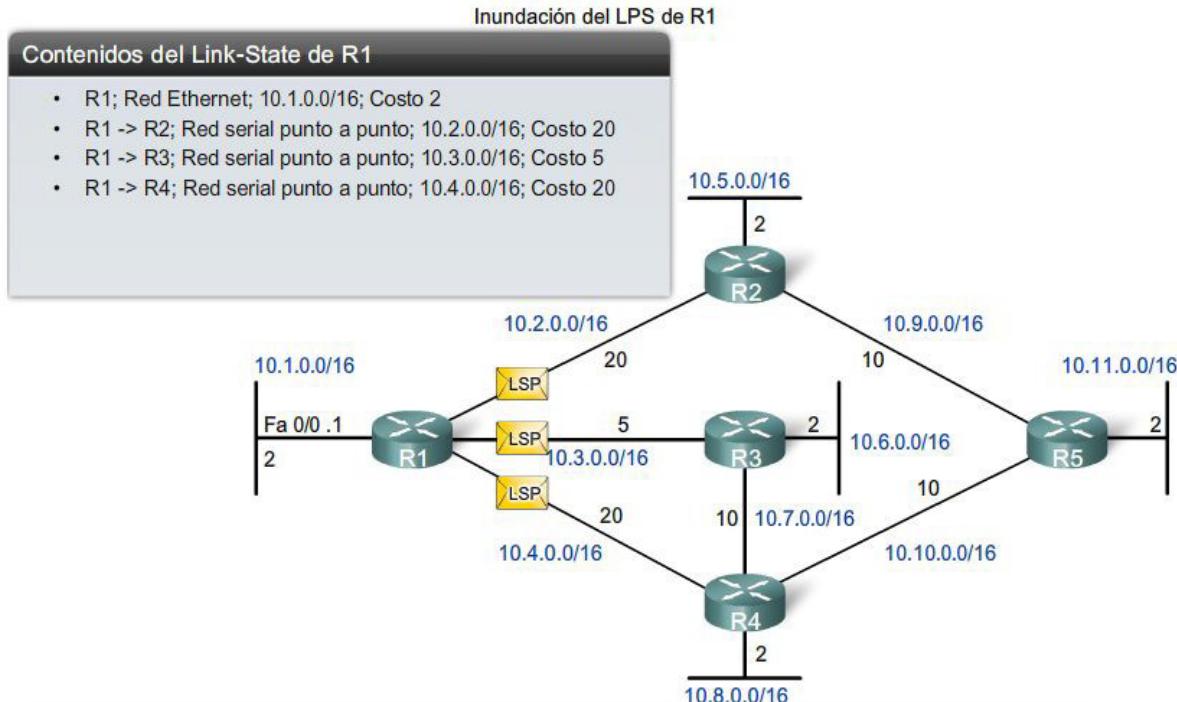
Clasificación

- *Algoritmos de estado de enlace*
 - *Cada router calcula la ruta de menor costo al resto de routers (Algoritmo de Dijkstra)*
 - *Obtiene tabla de encaminamiento*
 - *No se utilizan actualizaciones periódicas*
 - *Una vez que la red ha convergido, la actualización de estado se envía sólo si hay un cambio en la topología*
 - *En una red con nodos móviles los LSP se envían con frecuencia*

Protocolos de encaminamiento Adhoc

Algoritmos de estado de enlace

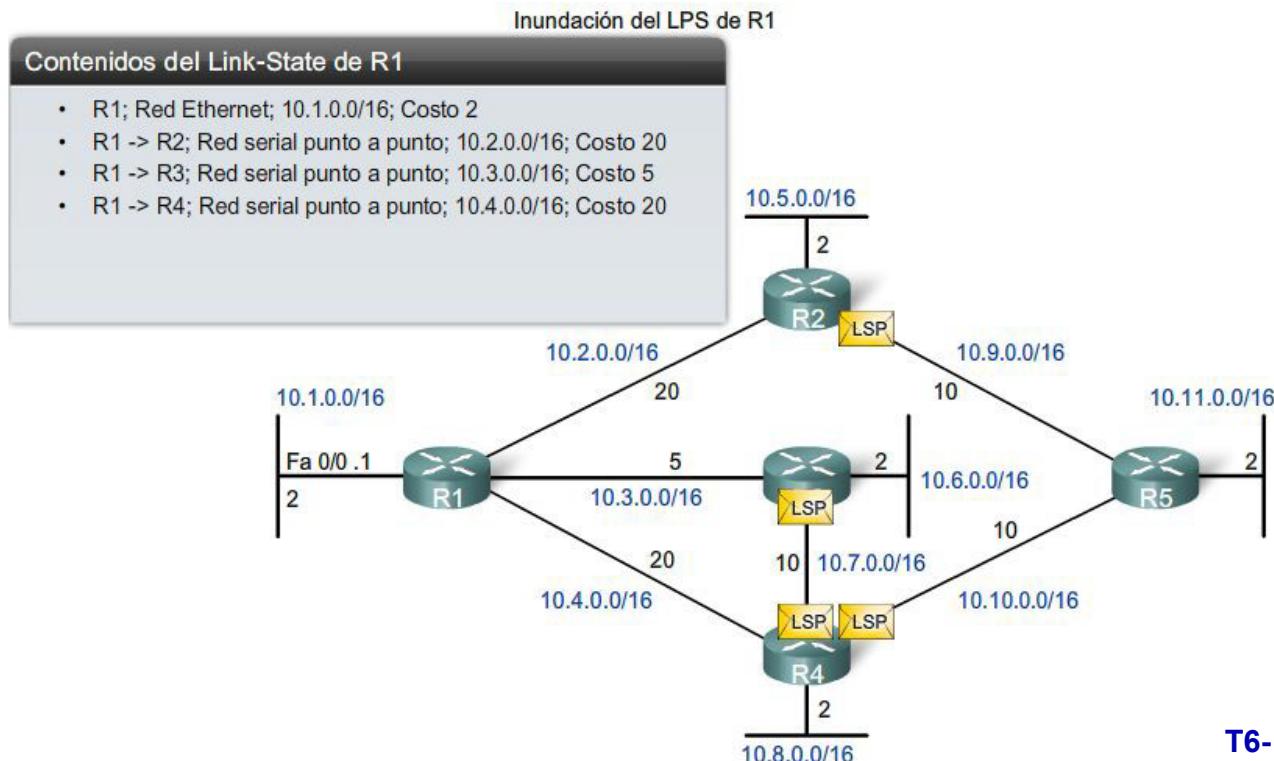
- Ejemplo: Inundación de LSP



Protocolos de encaminamiento Adhoc

Algoritmos de estado de enlace

- Cada router reenvía el LSP recibido de otro router



Protocolos de encaminamiento Adhoc

Algoritmos de estado de enlace

- *Cada router tiene los LSP de todos los routers*

Base de datos de link-state de R1

LSP de R2:

- Conectado al vecino R1 en la red 10.2.0.0/16, costo de 20
- Conectado al vecino R5 en la red 10.9.0.0/16, costo de 10
- Posee una red 10.5.0.0/16, costo de 2

LSP de R3:

- Conectado al vecino R1 en la red 10.3.0.0/16, costo de 5
- Conectado al vecino R4 en la red 10.7.0.0/16, costo de 10
- Posee una red 10.6.0.0/16, costo de 2

LSP de R4:

- Conectado al vecino R1 en la red 10.4.0.0/16, costo de 20
- Conectado al vecino R3 en la red 10.7.0.0/16, costo de 10
- Conectado al vecino R5 en la red 10.10.0.0/16, costo de 10
- Posee una red 10.8.0.0/16, costo de 2

LSP de R5:

- Conectado al vecino R2 en la red 10.9.0.0/16, costo de 10
- Conectado al vecino R4 en la red 10.10.0.0/16, costo de 10
- Posee una red 10.11.0.0/16, costo de 2

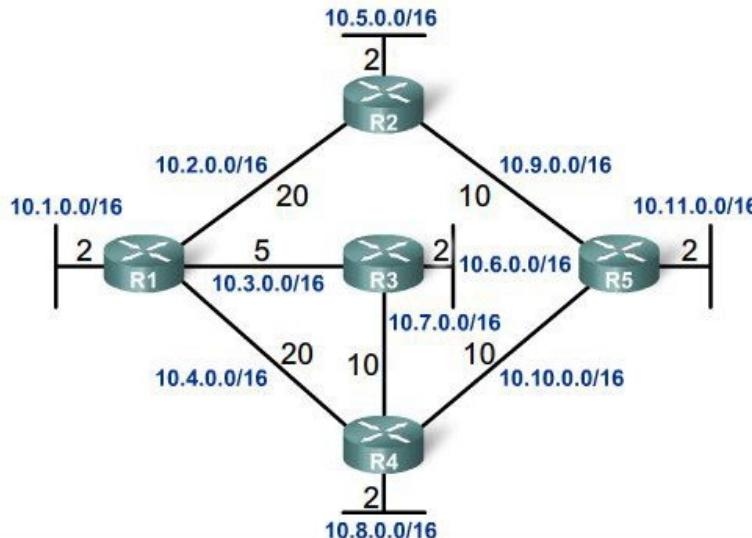
Estados de enlace del R1:

- Conectado al vecino R2 en la red 10.2.0.0/16, costo de 20
- Conectado al vecino R3 en la red 10.3.0.0/16, costo de 5
- Conectado al vecino R4 en la red 10.4.0.0/16, costo de 20
- Posee una red 10.1.0.0/16, costo de 2

Protocolos de encaminamiento Adhoc

Algoritmos de estado de enlace

- Algoritmo de Dijkstra (rutas mas cortas). Ejemplo para R1



Destino	Ruta más corta	Costo
LAN de R2	R1 a R2	22
LAN de R3	R1 a R3	7
LAN de R4	R1 a R3 a R4	17
LAN de R5	R1 a R3 a R4 a R5	27

Protocolos de encaminamiento Adhoc

Algoritmos de estado de enlace

- *Tabla de enrutamiento*

Tabla de enrutamiento de R1

Redes conectadas directamente

- Red 10.1.0.0/16 conectada directamente
- Red 10.2.0.0/16 conectada directamente
- Red 10.3.0.0/16 conectada directamente
- Red 10.4.0.0/16 conectada directamente

Redes remotas

- 10.5.0.0/16 a través de serial R2 0/0/0, costo = 22
- 10.6.0.0/16 a través de serial R3 0/0/1, costo = 7
- 10.7.0.0/16 a través de serial R3 0/0/1, costo = 15
- 10.8.0.0/16 a través de serial R3 0/0/1, costo = 17
- 10.9.0.0/16 a través de serial R2 0/0/0, costo = 30
- 10.10.0.0/16 a través de serial R3 0/0/1, costo = 25
- 10.11.0.0/16 a través de serial R3 0/0/1, costo = 27

Protocolos de encaminamiento Adhoc

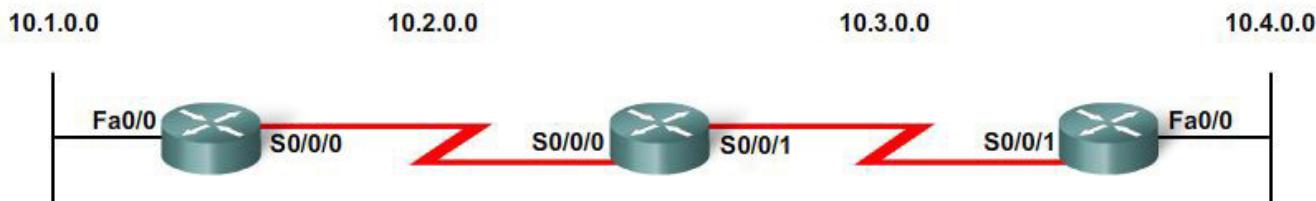
Clasificación

- *Algoritmos de vector distancia*
 - La tabla se actualiza *intercambiando información con los vecinos directos* cada T seg
 - El router actualiza su tabla cada vez que recibe información de sus vecinos, y la redistribuye si hay modificaciones
 - El router solamente conoce la información de enrutamiento que recibió de sus vecinos
 - El router no conoce la topología exacta de toda la red

Protocolos de encaminamiento Adhoc

Algoritmos de vector distancia

- Ejemplo: Situación inicial*



Red	Interfaz	Salto
10.1.0.0	Fa0/0	0
10.2.0.0	S0/0/0	0

Red	Interfaz	Salto
10.2.0.0	S0/0/0	0
10.3.0.0	S0/0/1	0

Red	Interfaz	Salto
10.3.0.0	S0/0/1	0
10.4.0.0	Fa0/0	0

Protocolos de encaminamiento Adhoc

Algoritmos de vector distancia

- Después del primer intercambio

Red	Interfaz	Salto
10.1.0.0	Fa0/0	0
10.2.0.0	S0/0/0	0
10.3.0.0	S0/0/0	1

Red	Interfaz	Salto
10.2.0.0	S0/0/0	0
10.3.0.0	S0/0/1	0
10.1.0.0	S0/0/0	1
10.4.0.0	S0/0/1	1

Red	Interfaz	Salto
10.3.0.0	S0/0/0	0
10.4.0.0	Fa0/0	0
10.2.0.0	S0/0/1	1

- Después del segundo intercambio

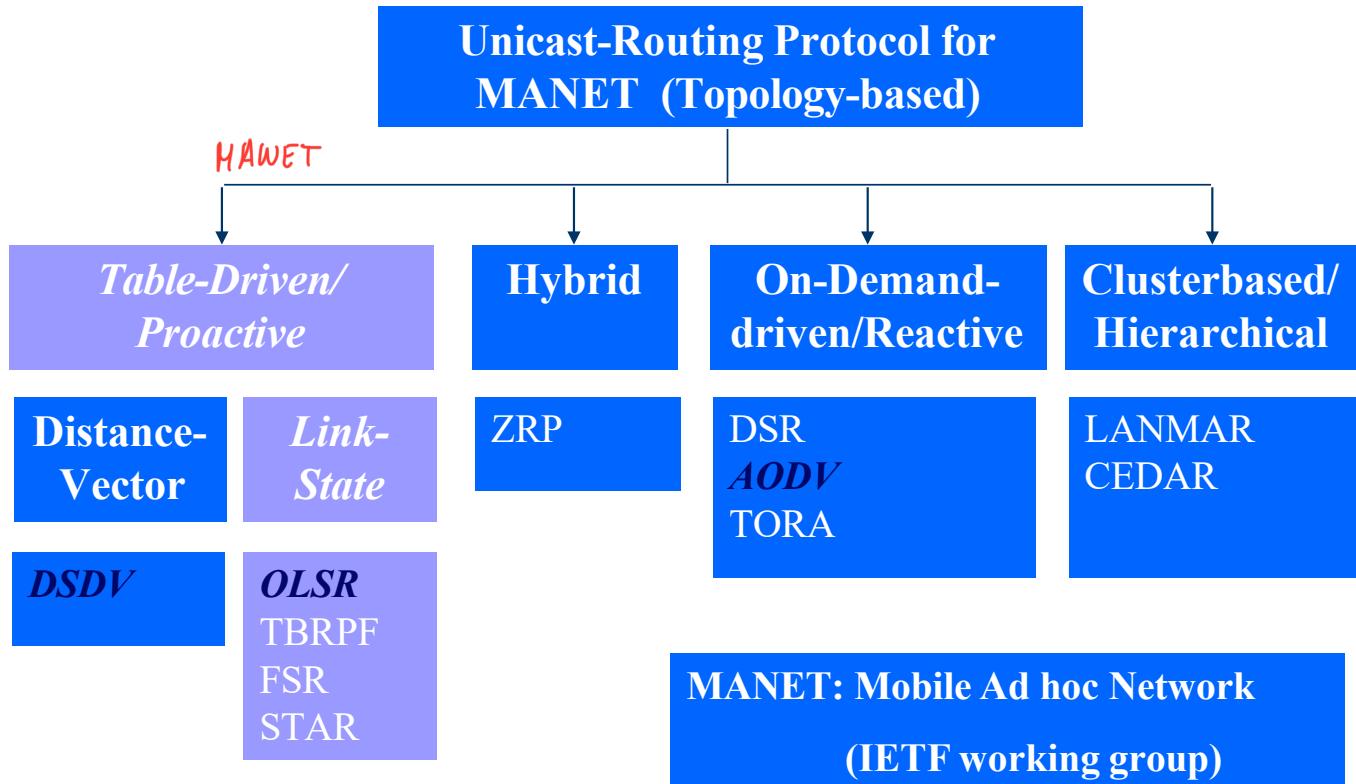
Red	Interfaz	Salto
10.1.0.0	Fa0/0	0
10.2.0.0	S0/0/0	0
10.3.0.0	S0/0/0	1
10.4.0.0	S0/0/0	2

Red	Interfaz	Salto
10.2.0.0	S0/0/0	0
10.3.0.0	S0/0/1	0
10.1.0.0	S0/0/0	1
10.4.0.0	S0/0/1	1

Red	Interfaz	Salto
10.3.0.0	S0/0/1	0
10.4.0.0	Fa0/0	0
10.2.0.0	S0/0/1	1
10.1.0.0	S0/0/1	2

Protocolos de encaminamiento Adhoc

Clasificación



Protocolos de encaminamiento Adhoc

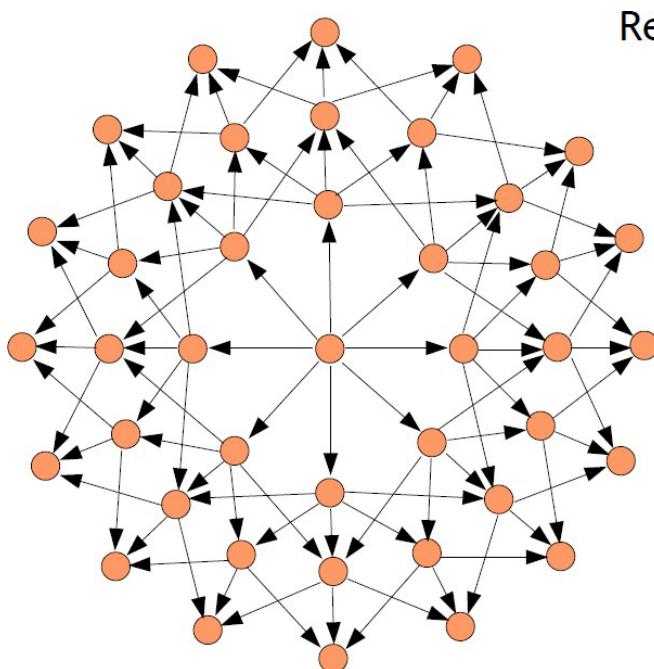
OLSR

- Optimized Link State Routing (RFC 3626) OLSR
 - En los algoritmos de estado de enlace hay duplicidad de los mensajes de control
 - Protocolo de enrutamiento de estado de enlace
 - En OLSR
 - Sólo los Multipoint Relays (MPR) transmiten mensajes de control
 - Minimiza la inundación (flooding)
 - Proactivo
 - Distribuido
 - Tolera pérdida de mensajes de control
 - Soporta movilidad
 - Adecuado para redes densas

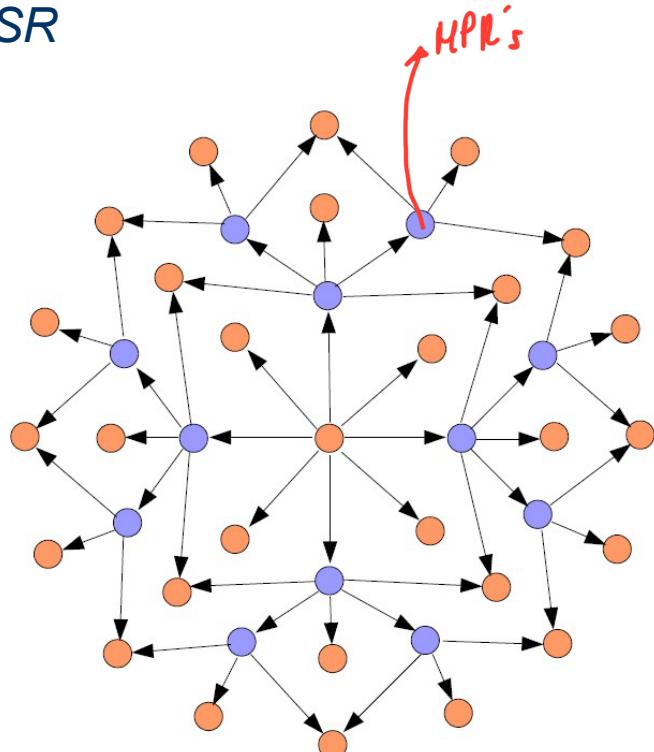
Protocolos de encaminamiento Adhoc

OLSR

- Retransmisiones LSR vs OLSR



Re



HPR: nodo que tiene permiso para veor las mensajías de difusión. El resto de los nodos solo escuchan.
Esto reduce drásticamente el tráfico de control y ancho de banda.

Protocolos de encaminamiento Adhoc

OLSR

- Formato de paquete general

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1			
+ +			
Packet Length	Packet Sequence Number		
+ +			
Message Type Vtime Message Size			
+ +			
Originator Address			
+ +			
Time To Live Hop Count Message Sequence Number			
+ +			
MESSAGE	:	:	:
+	+	+	+
Message Type Vtime Message Size			
+ +			
Originator Address			
+ +			
Time To Live Hop Count Message Sequence Number			
+ +			
MESSAGE	:	:	:
+	+	+	+
:			

Protocolos de encaminamiento Adhoc

OLSR

- Formato de paquete general
 - **Packet length:** longitud del paquete
 - **Packet Sequence Number:** Se incrementa en uno cada vez que se transmite un paquete OLSR por cada interfaz
 - **Message Type:** Tipo de mensaje en la parte MESSAGE
 - **Vtime:** Indica el tiempo de validez del mensaje después de su recepción
 - **Message Size:** Tamaño entre dos campos Message Type (o final del paquete)
 - **Originator Address:** Dirección del nodo que originó el mensaje
 - **Time To Live:** Número máximo de saltos
 - **Hop Count:** Número de saltos actual de un mensaje
 - **Message Sequence Number:** Se asigna una identificación a cada mensaje y se utiliza para asegurar que un mensaje dado no sea retransmitido mas de una vez

Protocolos de encaminamiento Adhoc

OLSR

- OLSR se divide en tres módulos principales:

- 1) – Búsqueda de vecinos y elección MPR
- 2) – Inundación de LSP optimizados (mensaje Toplogy Control)
- 3) – Cálculo de rutas

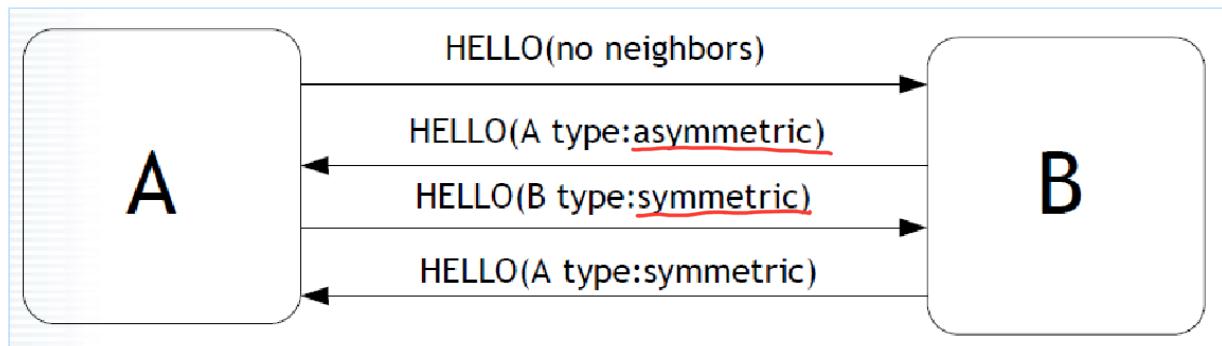
Protocolos de encaminamiento Adhoc

OLSR

①

• Búsqueda de vecinos:

- OLSR utiliza un mensaje “Hello” para descubrir sus *inmediatos vecinos (1-hop)*, y los que están a dos saltos en base a las respuestas de los vecinos *inmediatos*
- Los mensajes HELLO son transmitidos por todos los nodos periódicamente
- Contienen la lista de vecinos (1-hop) de cada nodo



Detección de vecinos

Protocolos de encaminamiento Adhoc

OLSR

- *Mensaje Hello*

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1
+-----+-----+-----+-----+			
Reserved Htime Willingness			
+-----+-----+-----+-----+			
Link Code Reserved Link Message Size			
+-----+-----+-----+-----+			
Neighbor Interface Address			
+-----+-----+-----+-----+			
Neighbor Interface Address			
+-----+-----+-----+-----+			
:	.	.	:
:	.	.	:
+-----+-----+-----+-----+			
Link Code Reserved Link Message Size			
+-----+-----+-----+-----+			
Neighbor Interface Address			
+-----+-----+-----+-----+			
Neighbor Interface Address			
+-----+-----+-----+-----+			
:	.	.	:
:	.	.	:
+-----+-----+-----+-----+			

Protocolos de encaminamiento Adhoc

OLSR

- Mensaje *HELLO*

- El más usado →
- **Htime:** Intervalo antes de enviar otro *HELLO*
 - **Willingness:** Especifica la disposición de un nodo para reencaminar tráfico de otros nodos
 - **Link Code:** Información sobre el enlace entre la interfaz del emisor y la siguiente lista de vecinos
 - **Link Message Size:** Tamaño del mensaje entre dos campos *Link Code* (o final de mensaje)
 - **Neighbor Interface Address:** dirección de la interfaz de un vecino

Protocolos de encaminamiento Adhoc

OLSR

- Mensaje *HELLO* – Link Code

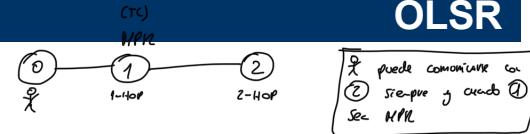
7	6	5	4	3	2	1	0
+	-	+	+	+	-	+	-
	0		0		0		Neighbor Type
+	-	+	+	+	-	+	-

- *Link Types:*
 - *UNSPEC_LINK*: No hay información de los enlaces
 - *ASYM_LINK*: Los enlaces son asimétricos con la interfaz
 - *SYM_LINK*: Los enlaces son simétricos con la interfaz
 - *LOST_LINK*: Los enlaces han sido perdidos
- *Neighbor Types*
 - *SYM_NEIGH*: Los vecinos tienen al menos un enlace simétrico con este nodo
 - *MPR_NEIGH*: Lo mismo que *SYM_NEIGH* y han sido seleccionados como *MPR* por el que originó el mensaje
 - *NOT_NEIGH*: Los nodos no son vecinos simétricos

Protocolos de encaminamiento Adhoc

● Elección de MPR

Mult-Point Relay



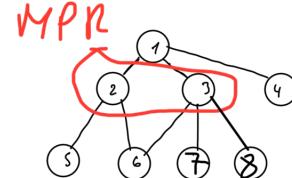
- Basándose en los mensajes *HELLO*, los nodos seleccionan sus MPRs tal que existe una ruta a cada vecino a dos saltos simétricos vía MPR

MPRs

- Cada nodo tiene su conjunto de MPR selectors, que son aquellos nodos que lo han elegido con un nodo MPR

- La elección de MPR viene dado:

- Conjunto de vecinos
- Enlaces simétricos
- Conjunto de vecinos a dos saltos



Para que 1 se pueda comunicar con 5 o 6, 1 y 2 tienen que ser MPR

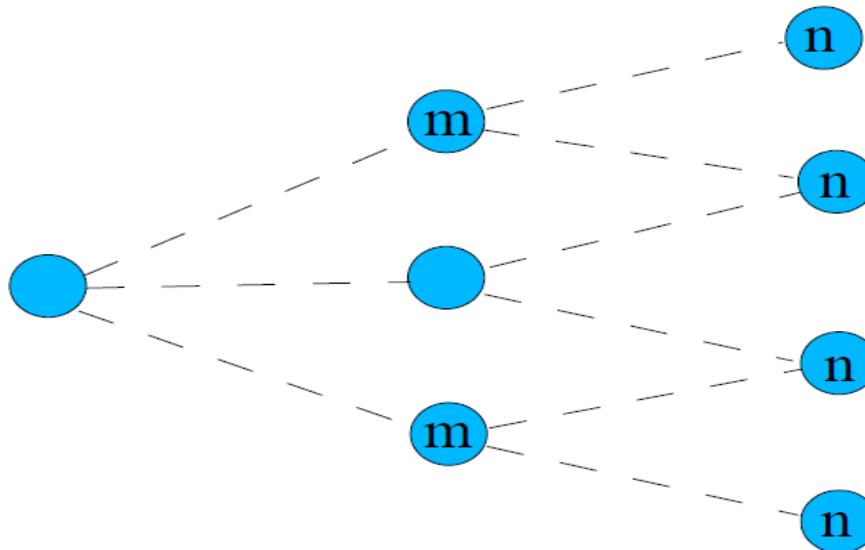
- Los mensajes "topology control" (TC) son re-enviados sólo por los MPR para difundir la información de los vecinos a través de la red

Protocolos de encaminamiento Adhoc

OLSR

- **Elección de MPR**

- Todos los nodos seleccionan y mantienen sus MPRs
- Regla: Para todos los n vecinos a dos saltos tienen que existir m MPR tal que los n nodos puedan ser contactados vía m

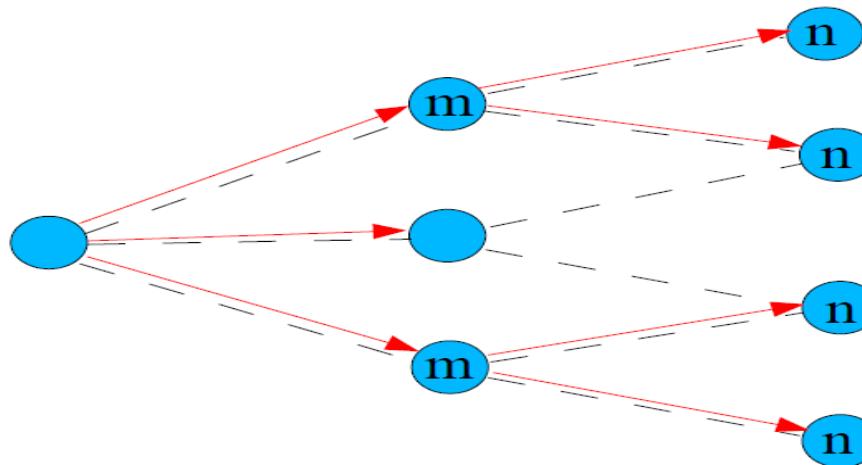


Protocolos de encaminamiento Adhoc

OLSR

• Elección de MPR

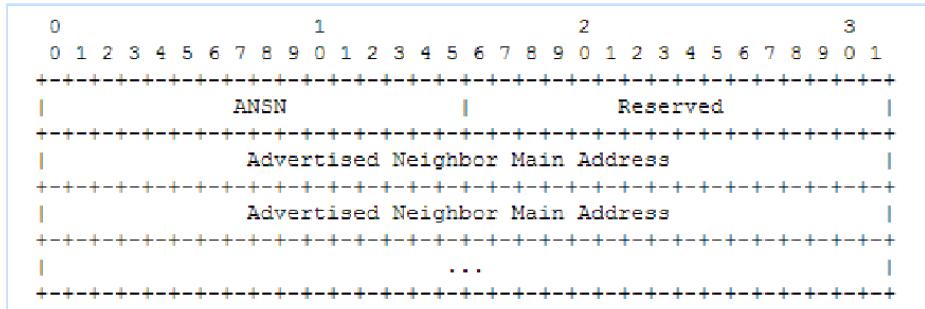
- Todos los nodos registran y mantienen sus MPR selectors
- Regla: Si un paquete OLSR se recibe de un MPR selector, todos los mensajes de dicho paquete son reenviados si $TTL > 0$



Protocolos de encaminamiento Adhoc

OLSR

- Mensaje Topology Control (TC)



- Advertised Neighbor Sequence Number (ANSN): Se incrementa cada vez que un nodo detecta un cambio en su conjunto de vecinos anunciados
 - Advertised Neighbor Main Address: Contiene la dirección de cada nodo vecino

Protocolos de encaminamiento Adhoc

OLSR

3

• Cálculo de rutas

- *Cada nodo mantiene una tabla de enrutamiento*
- *Se calcula en base a*
 - *Información local de los enlaces*
 - *Mensajes TC recibidos*
- *Algoritmo del camino mas corto a través de sus MPR*
- *La tabla se actualiza cuando hay un cambio en*
 - *Enlaces*
 - *Vecinos a 1 y/o 2 saltos*
 - *Topología*
- *La actualización de la tabla no genera ningún tipo de mensajes*

Protocolos de encaminamiento Adhoc

DSDV

- Destination-Sequenced Distance-Vector **DSDV**
 - Algoritmo de vector distancia proactivo
 - Cada nodo almacena una tabla de enrutamiento con:
 - Siguiente salto y métrica a cada destino
 - Número de secuencia a cada destino (generado por el propio destino)
 - Cada nodo reenvía su tabla de enrutamiento a sus vecinos periódicamente → tráfico en la red cuando no hay cambios

Protocolos de encaminamiento Adhoc

DSDV

- *Anuncios de rutas*

- *Cada nodo anuncia a cada vecino su información de enrutamiento*
 - *Dirección de destino*
 - *Métrica (saltos hacia el destino)*
 - *Número de secuencia del destino*
- *En cada anuncio, cada nodo incrementa su número de secuencia (número par)*
- *Si un nodo es inalcanzable, no hay enlace, se incrementa el número de secuencia de este nodo en uno (impar) y la métrica se fija a infinito*

Protocolos de encaminamiento Adhoc

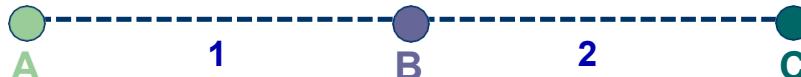
DSDV

- *Selección de rutas*
 - La información recibida se compara con la almacenada en la tabla de enrutamiento del nodo
 - Se elige la ruta con mayor número de secuencia al destino
 - Asegura que siempre se utiliza la información más reciente al destino
 - Si hay dos rutas con igual número de secuencia, se elige la de mejor métrica (ej: menor número de saltos)

Protocolos de encaminamiento Adhoc

DSDV

- *Anuncio de rutas*



Dest.	Next	Metric	Seq
A	A	0	A-550
B	B	1	B-100
C	B	3	C-588

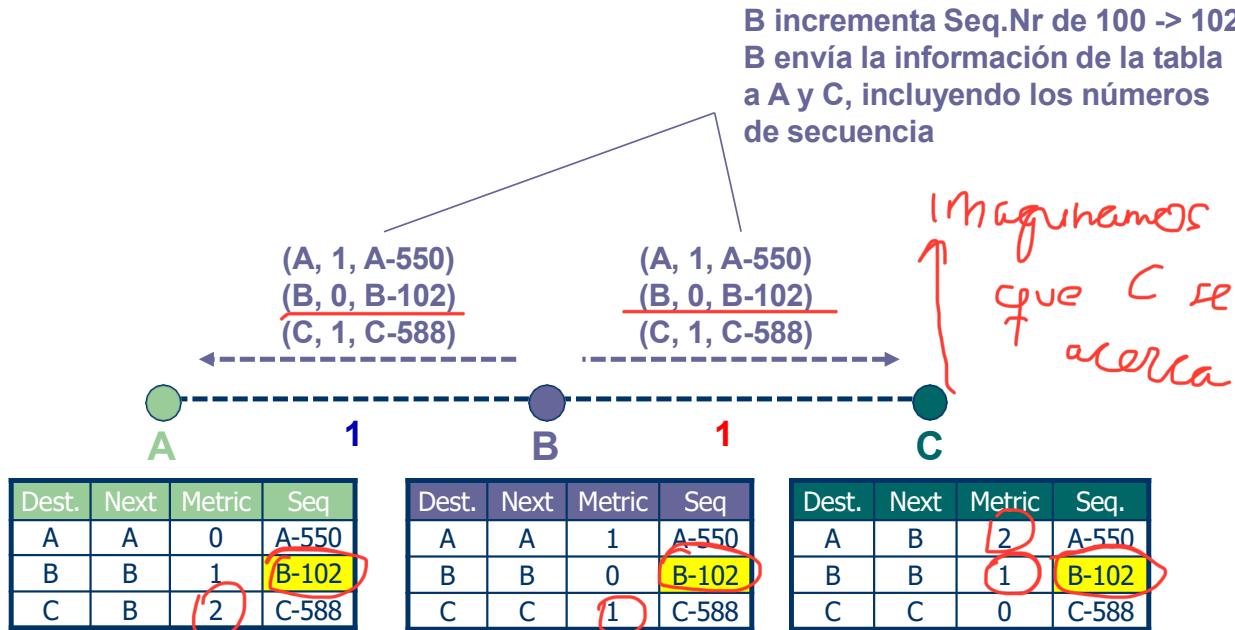
Dest.	Next	Metric	Seq
A	A	1	A-550
B	B	0	B-100
C	C	2	C-588

Dest.	Next	Metric	Seq.
A	B	3	A-550
B	B	2	B-100
C	C	0	C-588

Protocolos de encaminamiento Adhoc

DSDV

- Anuncio de rutas



Protocolos de encaminamiento Adhoc

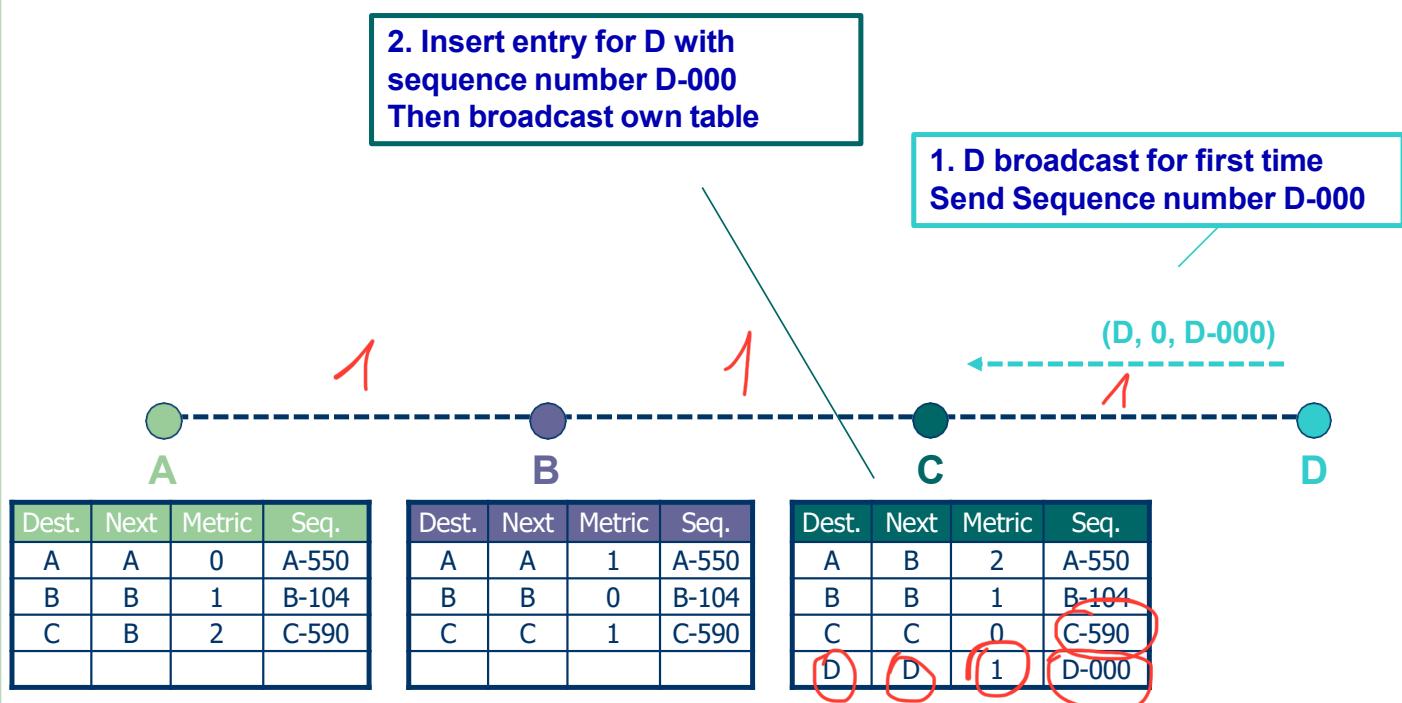
DSDV

- Cambios en la topología
 - Full dump:
 - Se envía toda la información almacenada en la tabla
 - Cada 15 segundos (por defecto)
 - Incremental dump:
 - Se envían sólo las entradas que han cambiado (cambios en las métricas, enlaces rotos, nuevas rutas)
 - Son cambios desde la última full dump
 - No se envían inmediatamente para reducir el número de actualizaciones en caso de misma ruta aprendida por dos caminos diferentes
 - Si hay muchos cambios a la vez, se recomienda realizar un full dump

Protocolos de encaminamiento Adhoc

DSDV

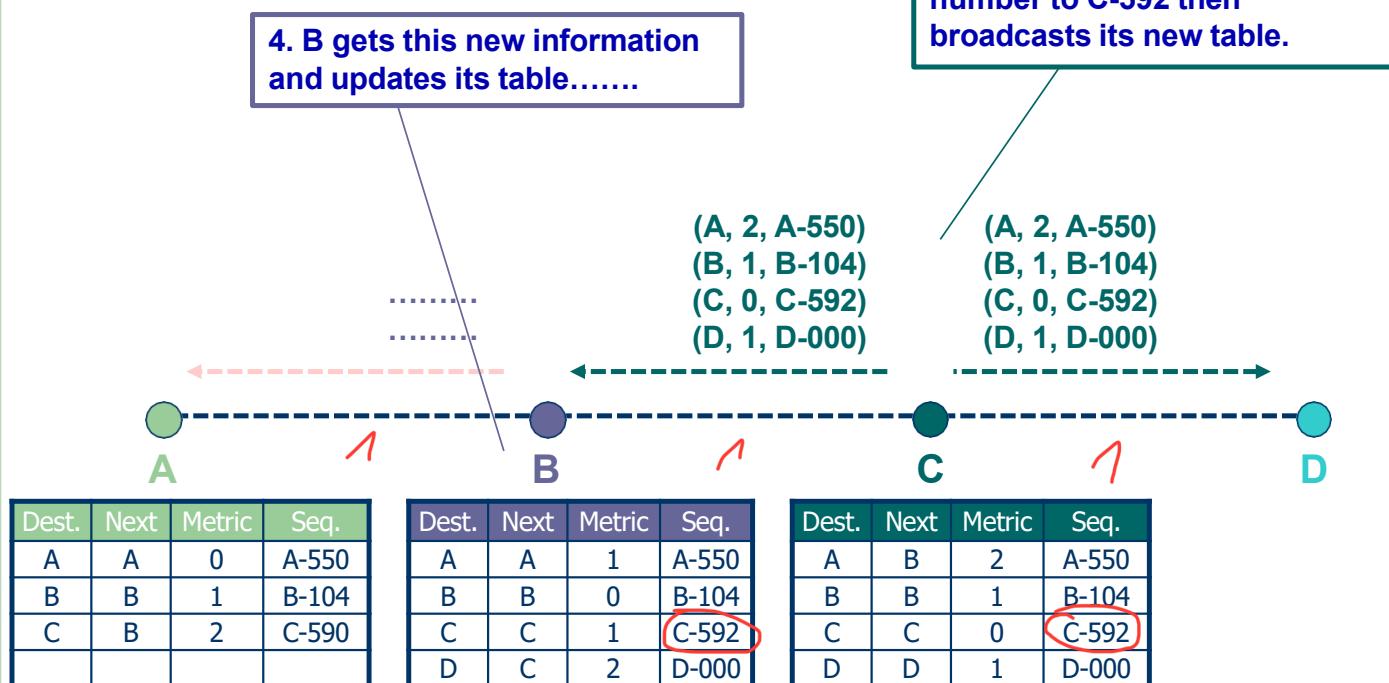
- *Nuevo nodo*



Protocolos de encaminamiento Adhoc

DSDV

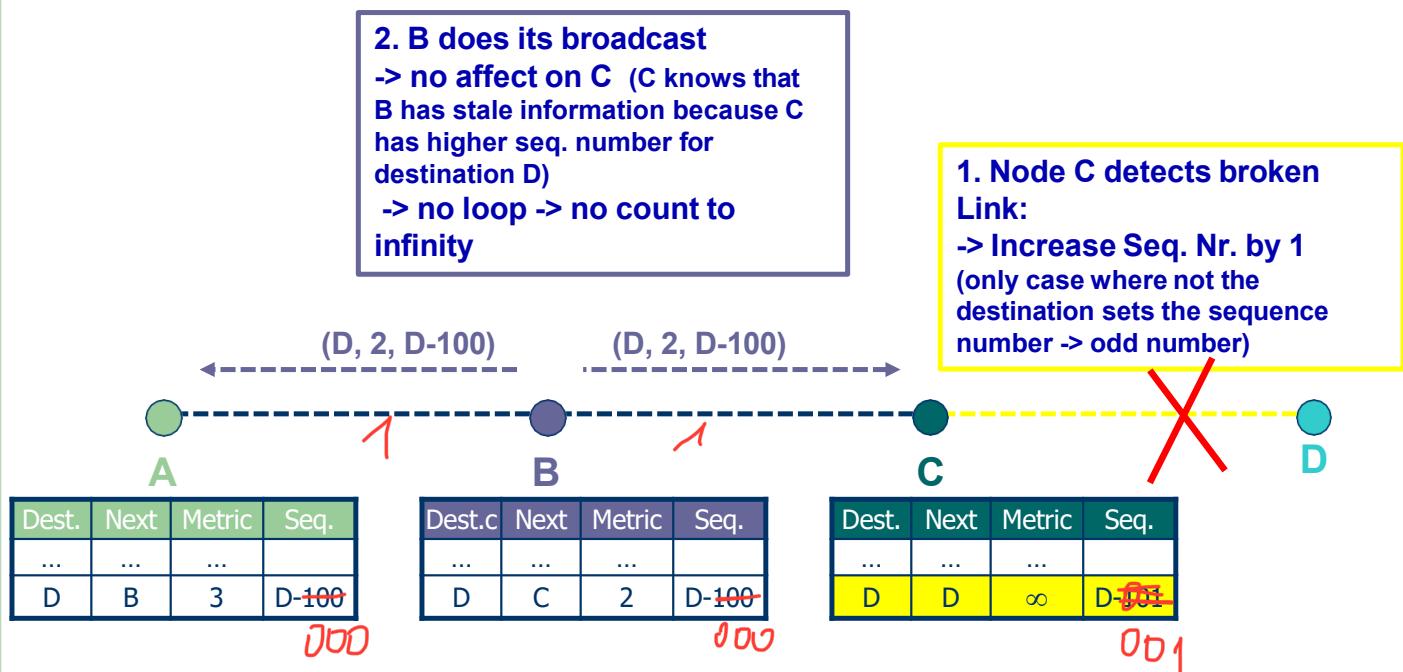
- Nuevo nodo



Protocolos de encaminamiento Adhoc

DSDV

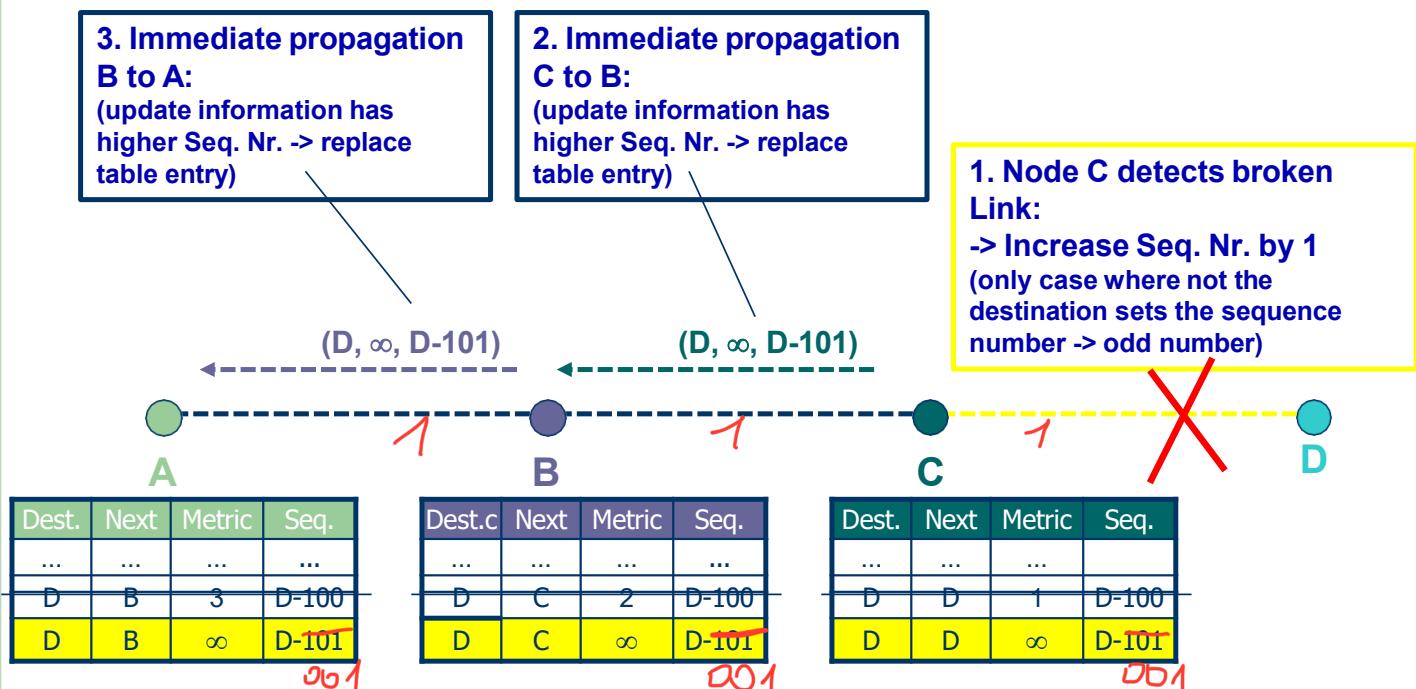
- *Enlace perdido*



Protocolos de encaminamiento Adhoc

DSDV

- Enlace perdido



Protocolos de encaminamiento Adhoc

AODV

- *Adhoc On-demand Distance Vector (RFC 3561)*
 - *Algoritmo de vector distancia reactivo*
 - *Las rutas se calculan cuando se envía un paquete a un destino*
 - *Se utiliza el concepto de número de secuencia de DSDV*
 - *Cada nodo almacena una tabla de enrutamiento con:*
 - *Siguiente salto a un destino*
 - *Número de secuencia del destino*

Protocolos de encaminamiento Adhoc

AODV

- Mensaje Route Request

RREQ

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
Type J R G D U Reserved Hop Count	++	++	++
RREQ ID	++	++	++
Destination IP Address	++	++	++
Destination Sequence Number	++	++	++
Originator IP Address	++	++	++
Originator Sequence Number	++	++	++

Protocolos de encaminamiento Adhoc

AODV

- Mensaje *RREQ*
 - **Type:** 1
 - **J, R, G, D U:** flags específicos
 - **Hop Count:** Número de salto entre origen y nodo actual
 - **RREQ ID:** Número de secuencia de RREQ
 - **Destination IP Address:** IP del destino a buscar su ruta
 - **Destination Sequence Number:** Último número de secuencia recibido para cualquier ruta hacia el destino
 - **Originator IP Address:** IP del nodo que originó el RREQ
 - **Originator Sequence Number:** Número de secuencia actual para utilizar en la tabla de enrutamiento hacia el nodo creador de RREQ
 - Path reverse

Protocolos de encaminamiento Adhoc

AODV

- Mensaje Route Reply

RREP

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
Type	R/A Reserved	Prefix Sz	Hop Count
	Destination IP address		
	Destination Sequence Number		
	Originator IP address		
	Lifetime		

Protocolos de encaminamiento Adhoc

AODV

- Mensaje *RREP*

- **Type:** 2
- **R , A:** flags específicos
- **Prefix Size:** Si no es cero, indica que el siguiente salto puede ser utilizado por cualquier nodo con el mismo prefijo de enrutamiento que coincide con el destino solicitado
- **Hop Count:** Número de saltos entre el origen y el destino
- **Destination IP Address:** IP del destino para el cual la ruta se solicita
- **Destination Sequence Number:** Número de secuencia del destino vinculado a la ruta
- **Originator IP Address:** IP del nodo que originó *RREQ*
- **Lifetime:** Tiempo (ms) válido de la ruta para aquellos nodos que reciban el *RREP*

Protocolos de encaminamiento Adhoc

AODV

- Mensaje Route Error

REER

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
Type N Reserved DestCount	+	+	+
+	+	+	+
Unreachable Destination IP Address (1)	+	+	+
+	+	+	+
Unreachable Destination Sequence Number (1)	+	+	+
+	+	+	+
Additional Unreachable Destination IP Addresses (if needed)	+	+	+
+	+	+	+
Additional Unreachable Destination Sequence Numbers (if needed)	+	+	+
+	+	+	+

Protocolos de encaminamiento Adhoc

AODV

- Mensaje *RERR*

- **Type:** 3
- **DestCount:** Número de destinos inalcanzables incluidos en el mensaje
- **Unreachable Destination IP Address:** IP del destino inalcanzable (*link break*)
- **Unreachable Destination Sequence Number:** Número de secuencia en la entrada de la tabla de enrutamiento de la IP anterior más uno

Protocolos de encaminamiento Adhoc

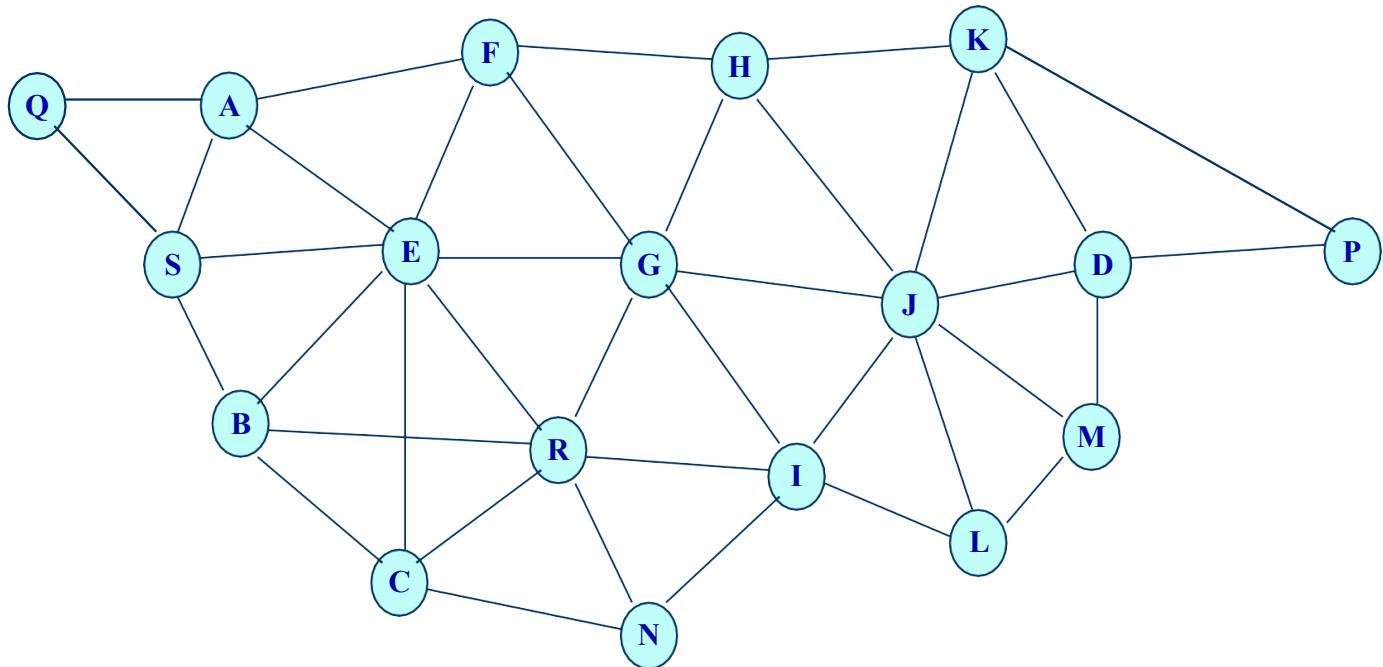
AODV

- *Descubrimiento de una ruta*
 - Un nodo (*S*) crea un *RREQ* y realiza un broadcast a sus vecinos
 - Cada nodo por donde pasa *RREQ* crea/actualiza la tabla de enrutamiento con una entrada hacia *S*, reverse path
 - Si un nodo intermedio tiene una ruta hacia el destino (*D*) compara el número de secuencia del destino (*NSD*):
 - $NSD(\text{tabla}) < NSD (\text{RREQ}) \rightarrow$ Broadcast de *RREQ* a sus vecinos
 - $NSD(\text{tabla}) \geq NSD (\text{RREQ}) \rightarrow$ Unicast *RREP* al vecino por el cual se recibió *RREQ*
 - Una vez que el *RREP* se genera, éste regresa a *S* utilizando la ruta inversa por el camino mas corto \rightarrow se forma forward path
 - Un nodo intermedio actualiza la tabla de enrutamiento si:
 - *NSD* es mayor, o
 - *NSD* es igual y el *hop count* es menor

Protocolos de encaminamiento Adhoc

AODV

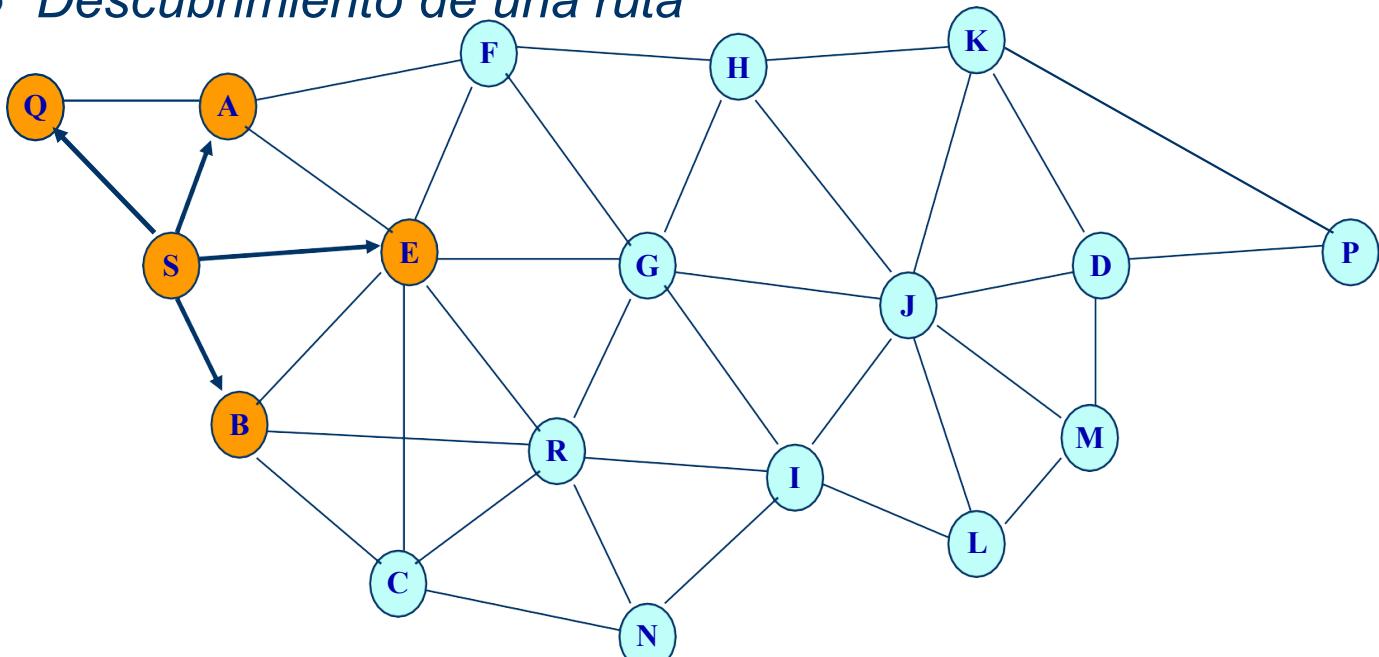
- *Descubrimiento de una ruta*



Protocolos de encaminamiento Adhoc

AODV

- Descubrimiento de una ruta



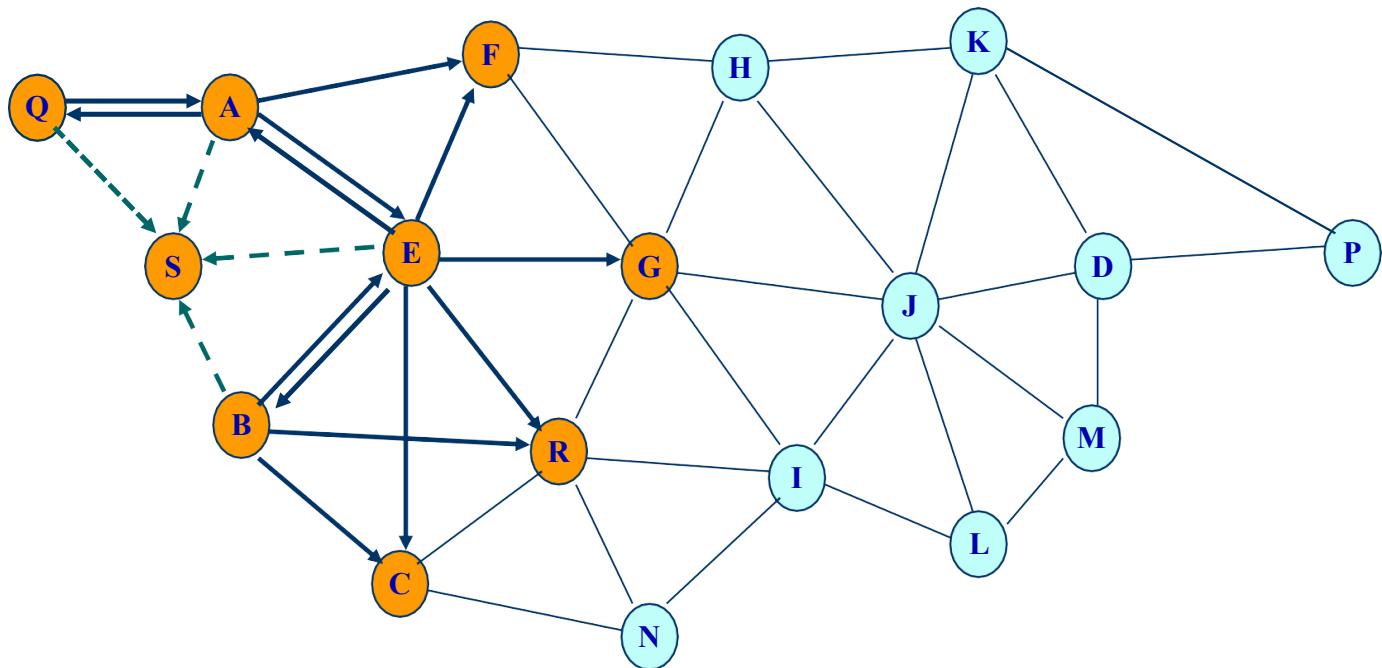
: Route Request (RREQ)

Si uno de los nodos intermedios conoce una ruta a D, responde a S siempre y cuando el número de secuencia que almacena sea superior

Protocolos de encaminamiento Adhoc

AODV

- Descubrimiento de una ruta

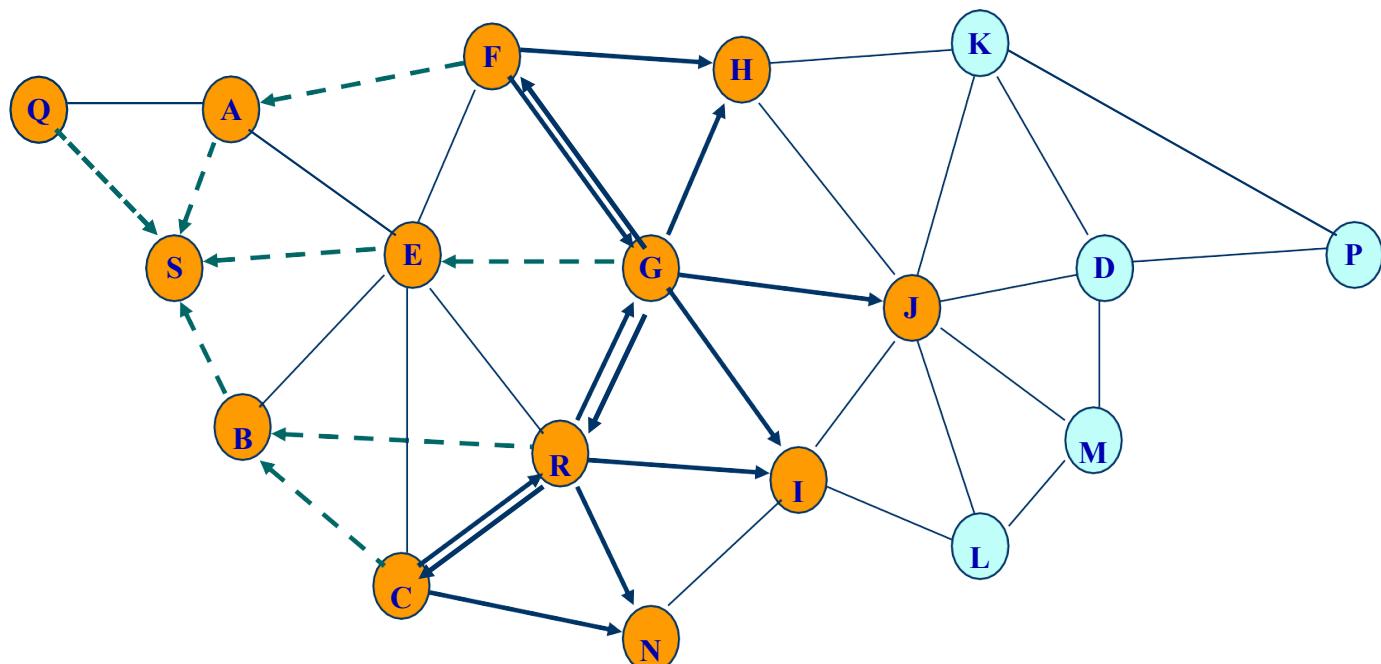


→ : represents a link on the reverse path

Protocolos de encaminamiento Adhoc

AODV

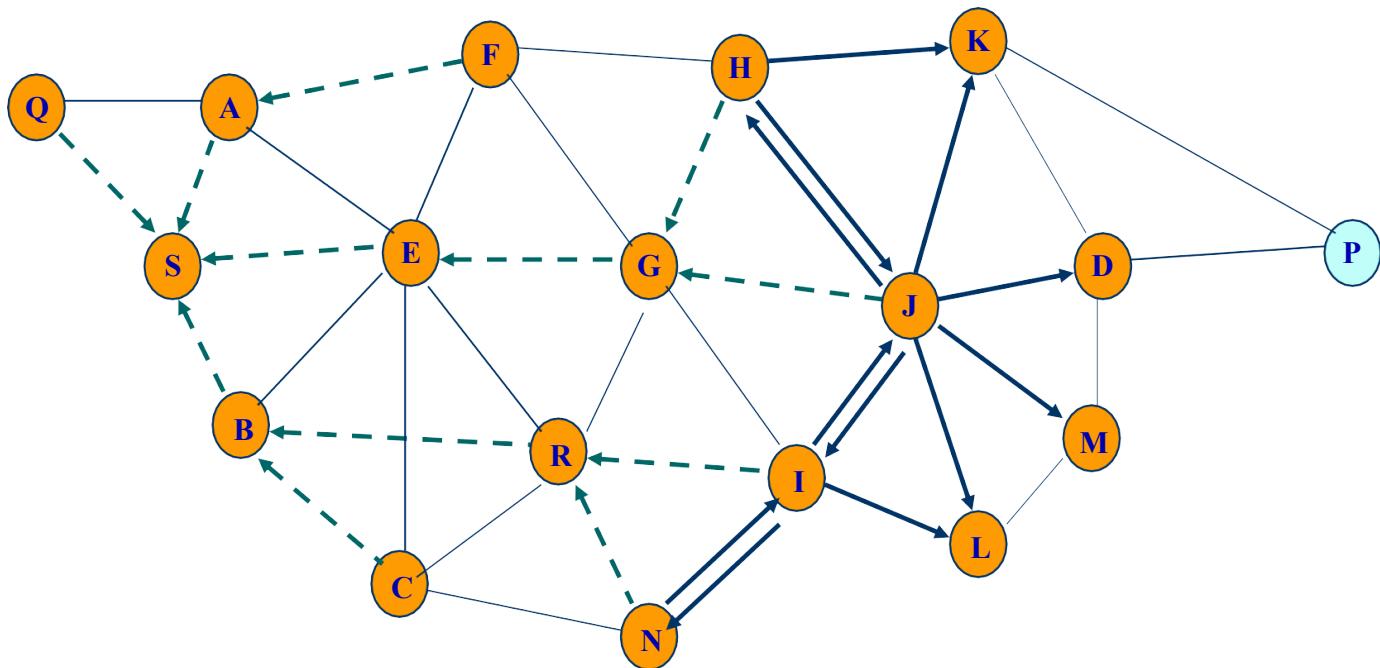
- *Descubrimiento de una ruta*



Protocolos de encaminamiento Adhoc

AODV

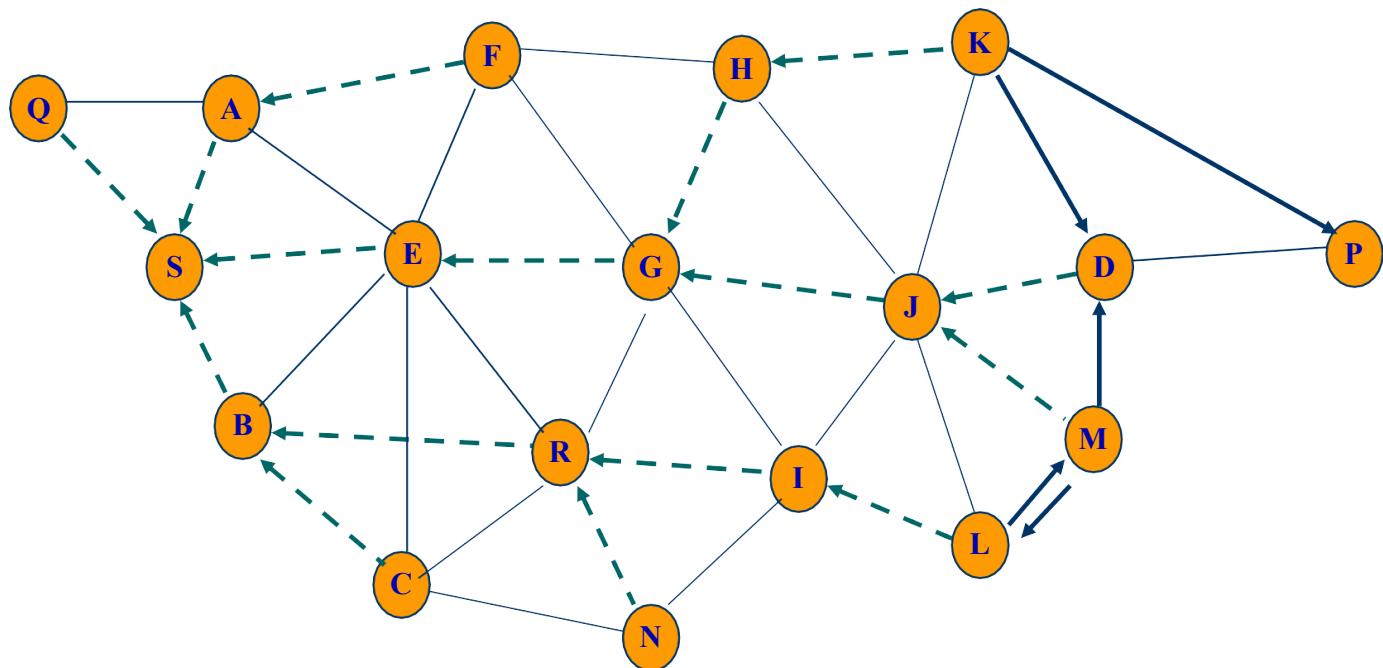
- *Descubrimiento de una ruta*



Protocolos de encaminamiento Adhoc

AODV

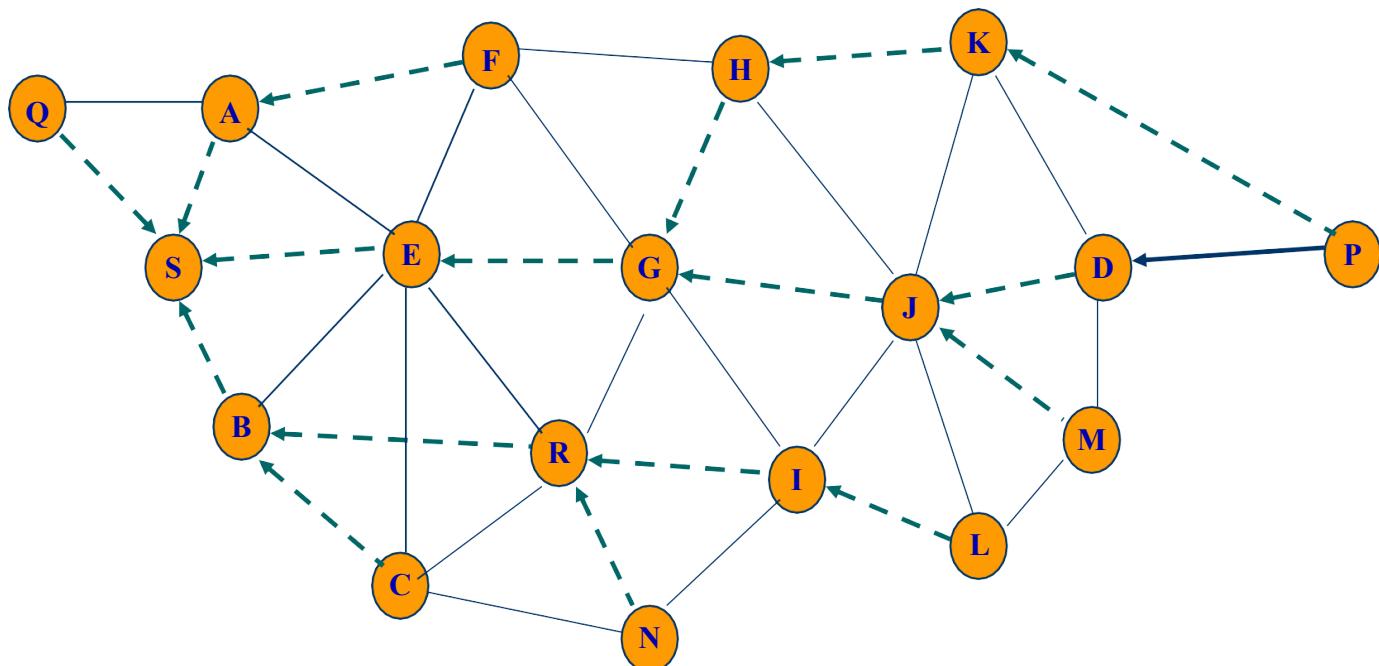
- *Descubrimiento de una ruta*



Protocolos de encaminamiento Adhoc

AODV

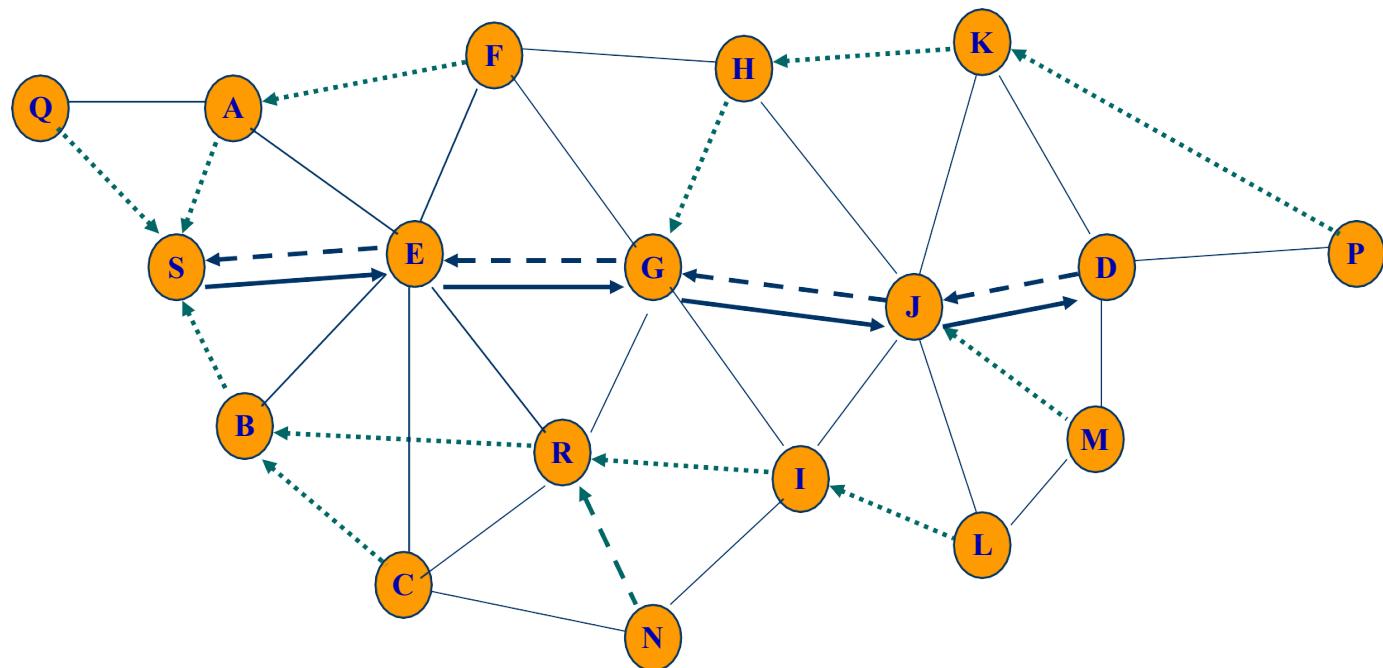
- *Descubrimiento de una ruta*



Protocolos de encaminamiento Adhoc

AODV

- Descubrimiento de una ruta



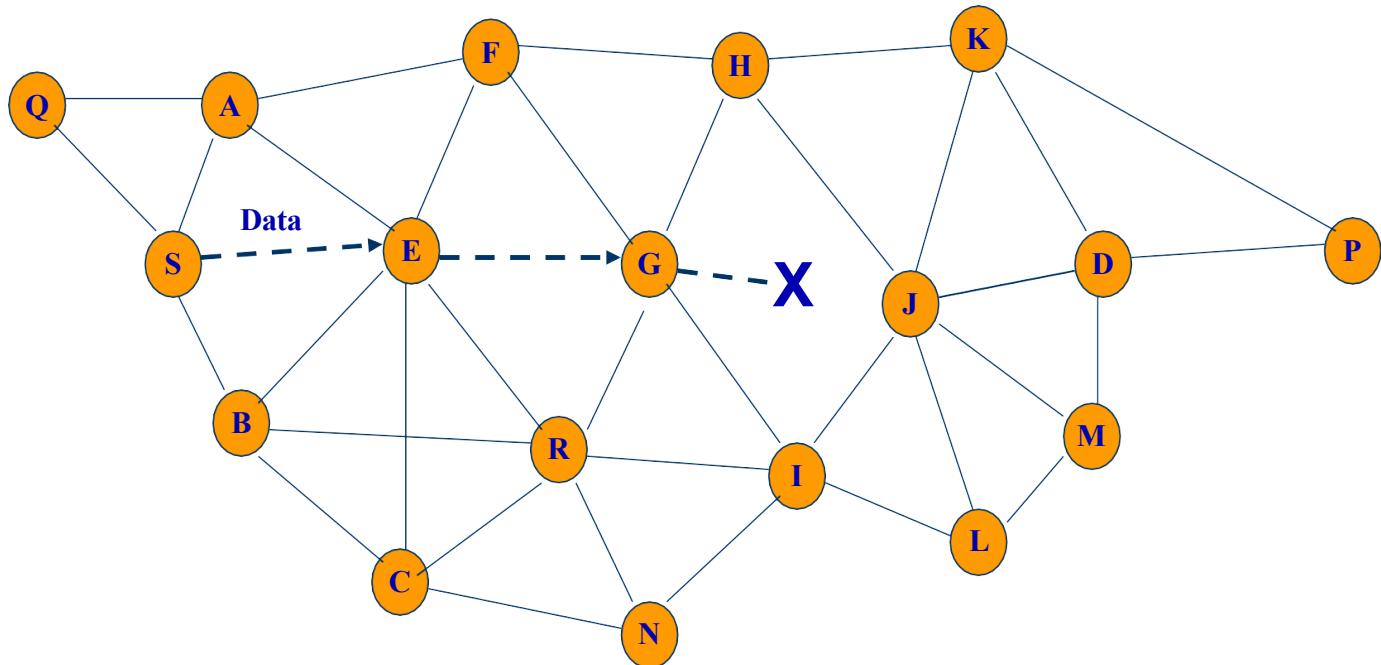
← : Link over which the RREP is transmitted

→ : Forward path

Protocolos de encaminamiento Adhoc

AODV

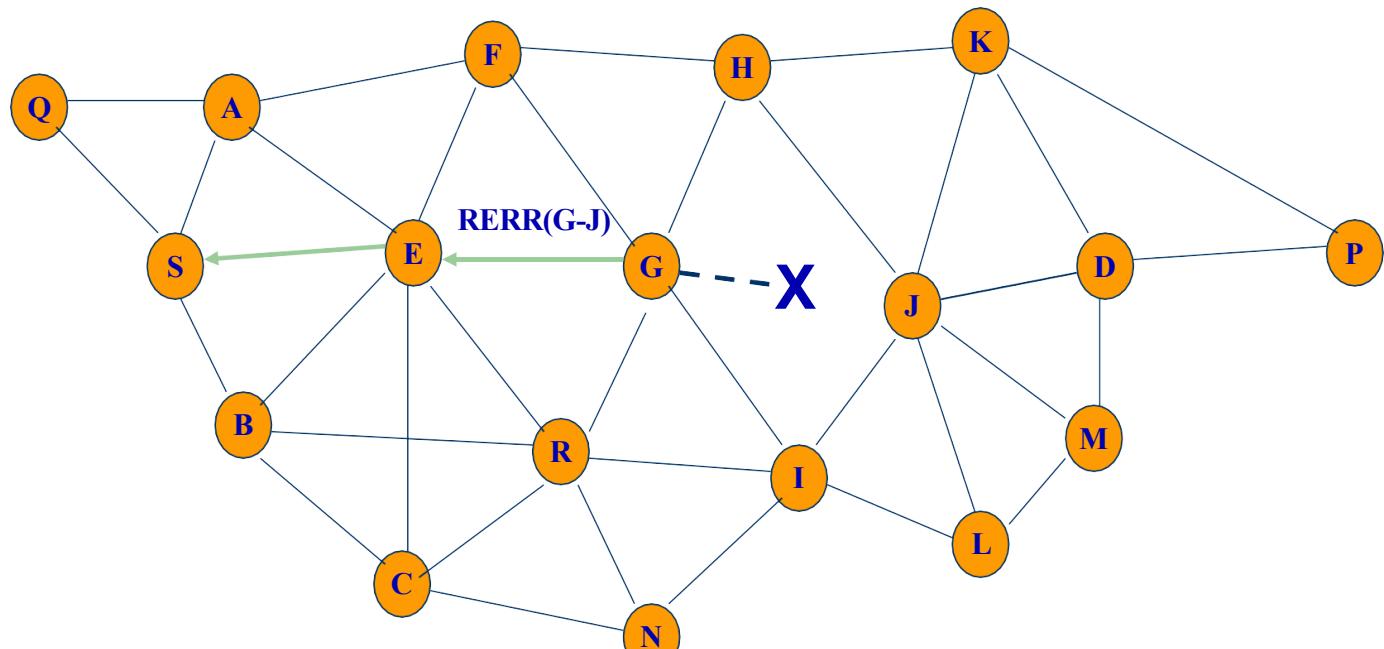
- Pérdida de un enlace



Protocolos de encaminamiento Adhoc

AODV

- Pérdida de un enlace

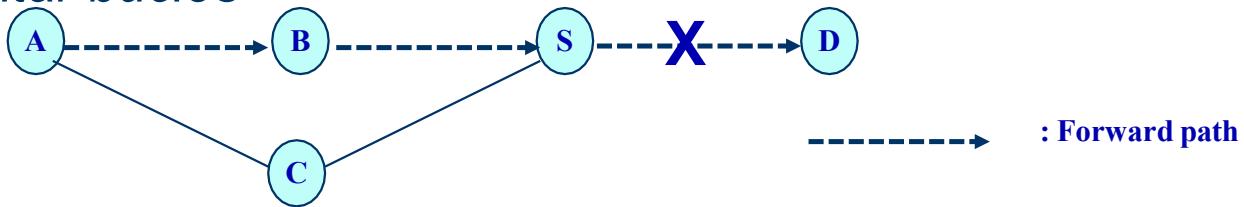


Cuando S recibe RERR borra la ruta hacia D,
e inicia un nuevo descubrimiento de ruta.
Número de secuencia de destino a D se incrementa en G

Protocolos de encaminamiento Adhoc

AODV

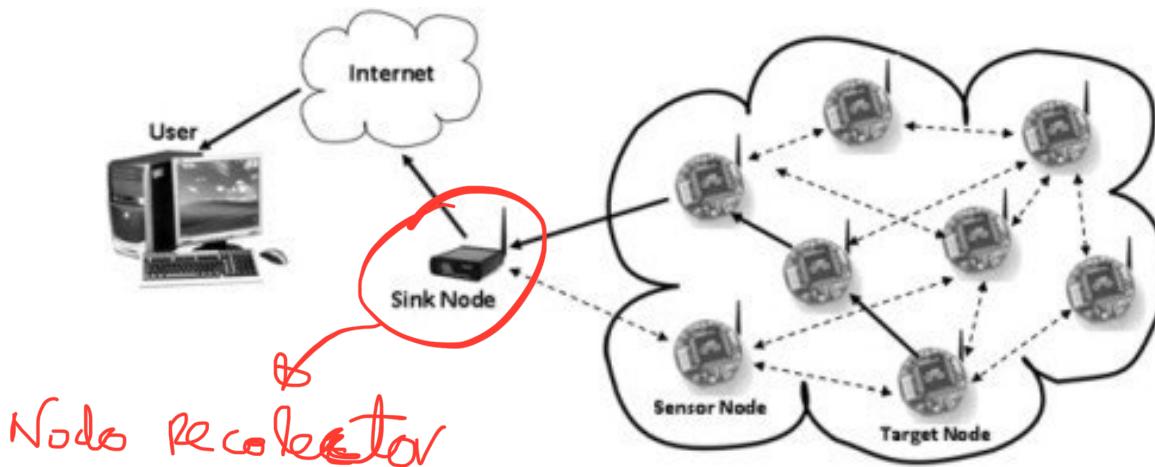
- Evitar bucles



- Suponer que A no es consciente del enlace roto S-D (se perdió el RERR enviado por S)
- S quiere enviar a D → Realiza un RREQ que puede recibir A vía S-C-A
- A responde que conoce una ruta hacia D y es vía B
 - Bucle S-C-A-B-S
- Por el número de secuencia S sabe que la ruta de A no está actualizada
 - Cuando S descubre el enlace roto incrementa el NSD(D)

Protocolos de encaminamiento WSN

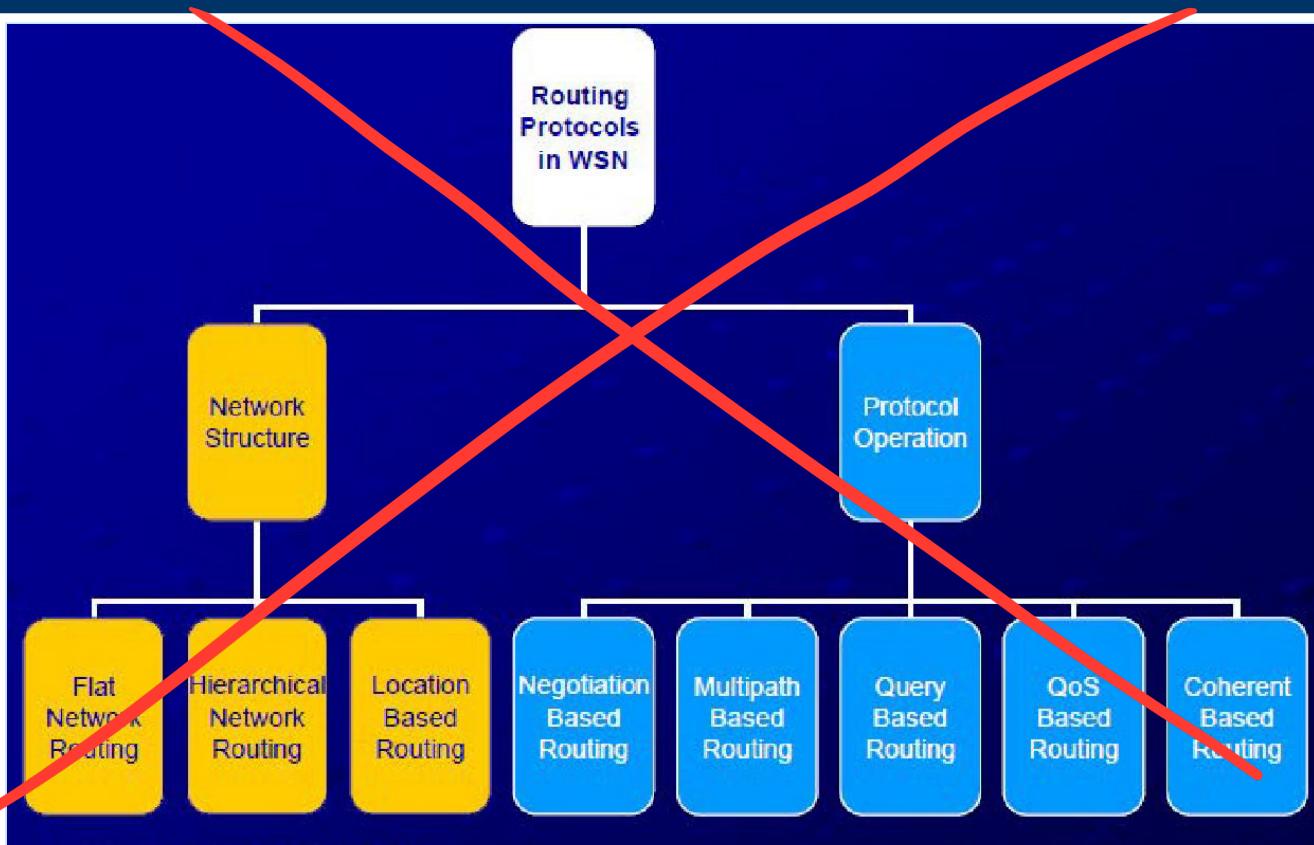
- WSN (*Wireless Sensor Network*)



Protocolos de encaminamiento WSN

- Consideraciones para el routing
 - Despliegue de los nodos
 - Manual → datos siguen una ruta predeterminada
 - Aleatorio → distribución de nodos no uniforme
 - Energía y hardware limitado
 - Protocolos eficientes con la energía y procesamiento
 - Tolerancia a fallos
 - Fallos debido a la falta de energía, interferencias, daños,...
 - Dinamismo de la red
 - Desplazamientos de nodos
 - Limitado ancho de banda (< 250 kbps)
 - Escalabilidad

Protocolos de encaminamiento WSN



Protocolos de encaminamiento WSN

- *Location based routing*
 - Utilizan información de la posición de los sensores para calcular la distancia entre nodos y elegir la ruta con menos consumo energético
- *Flat network routing (data-centric)*
 - Cuando un nodo (*S*) envía datos al *sink*, los nodos intermedios pueden agregar datos sobre los datos originales de *S* → menos transmisiones → menos consumo energético
- *Hierarchical routing*
 - Los nodos se agrupan en clusters de tal forma que cada cluster es administrado (routing) por un nodo

Protocolos de encaminamiento WSN

- *Multipath-based Protocols*
 - Cada nodo busca las k rutas más cortas al sink, y distribuye los datos entre dichas rutas
- *Heterogeneity-based Protocols*
 - Minimizan las comunicaciones de datos teniendo en cuenta que hay nodos conectados a la red eléctrica
- *QoS-based Protocols*
 - Tienen en cuenta requerimientos de QoS como retardo, fiabilidad y tolerancia a fallos en conjunción con el consumo de energía

Protocolos de encaminamiento WSN

Category	Representative Protocols
Location-based Protocols	MECN, SMECN, GAF, GEAR, Span, TBF, BVGF, GeRaF
Data-centric Protocols	SPIN, Directed Diffusion, Rumor Routing, COUGAR, ACQUIRE, EAD, Information-Directed Routing, Gradient-Based Routing, Energy-aware Routing, Information-Directed Routing, Quorum-Based Information Dissemination, Home Agent Based Information Dissemination
Hierarchical Protocols	LEACH, PEGASIS, HEED, TEEN, APTEEN
Mobility-based Protocols	SEAD, TMDD, Joint Mobility and Routing, Data MULES, Dynamic Proxy Tree-Base Data Dissemination
Multipath-based Protocols	Sensor-Disjoint Multipath, Braided Multipath, N-to-1 Multipath Discovery
Heterogeneity-based Protocols	IDSQ, CADR, CHR
QoS-based protocols	SAR, SPEED, Energy-aware routing