

Capítulo 6

Redes inalámbricas y móviles

Redes de computadores
Bloque 3

A note on the use of these ppt slides:

We're making these slides freely available to all (faculty, students, readers). They're in PowerPoint form so you can add, modify, and delete slides (including this one) and slide content to suit your needs. They obviously represent a *lot* of work on our part. In return for use, we only ask the following:

- ❖ If you use these slides (e.g., in a class) in substantially unaltered form, that you mention their source (after all, we'd like people to use our book!)
- ❖ If you post any slides in substantially unaltered form on a www site, that you note that they are adapted from (or perhaps identical to) our slides, and note our copyright of this material.

Thanks and enjoy! JFK/KWR

All material copyright 1996-2010
J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved



Redes de computadoras: Un enfoque descendente, 5ª edición.
Jim Kurose, Keith Ross
Pearson Educación,
2010.

Redes inalámbricas y móviles 6-1

Capítulo 6: Redes inalámbricas y móviles

Escenario:

- ❖ Hay un mayor número de usuarios de móviles que de líneas fijas
- ❖ Hay más dispositivos móviles conectados a Internet que dispositivos fijos
 - portátiles, móviles inteligentes, tabletas, etc.
- ❖ Dos importantes retos, aunque diferentes
 - *inalámbrico*: comunicación sobre enlaces inalámbricos
 - *movilidad*: control del usuario que cambia de punto desde el que acceder a la red

Redes inalámbricas y móviles 6-2

Índice

6.1 Introducción

Inalámbrico

6.2 Características de los enlaces inalámbricos (CDMA)

6.3 LANS inalámbricas IEEE 802.11 ("Wi-Fi")

6.4 Acceso celular a Internet (arquitecturas, estándares, ej, GSM)

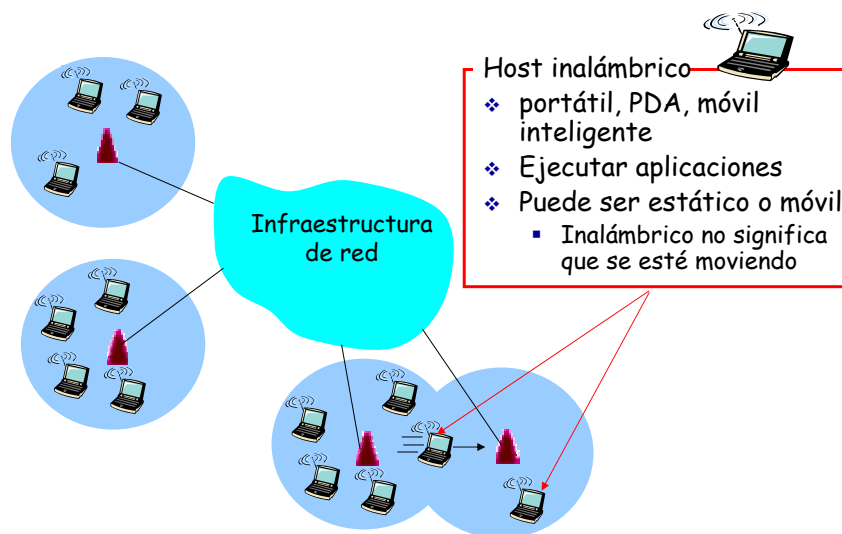
Movilidad

6.5 Direccionamiento y enrutado de usuarios móviles

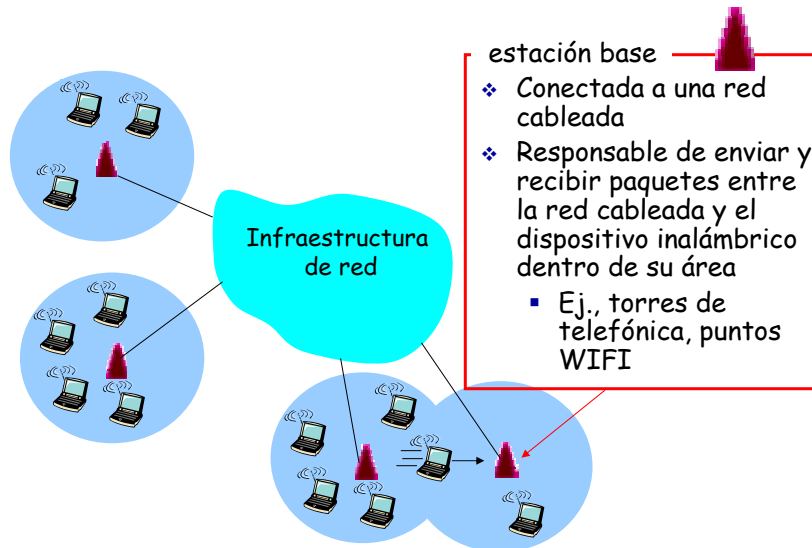
6.6 IP móvil

6.7 Resumen

Elementos de una red inalámbrica (I)

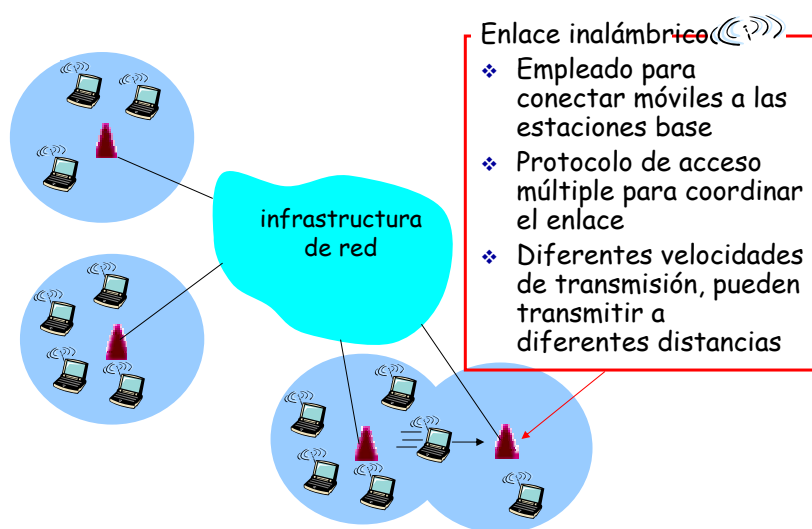


Elementos de una red inalámbrica (II)



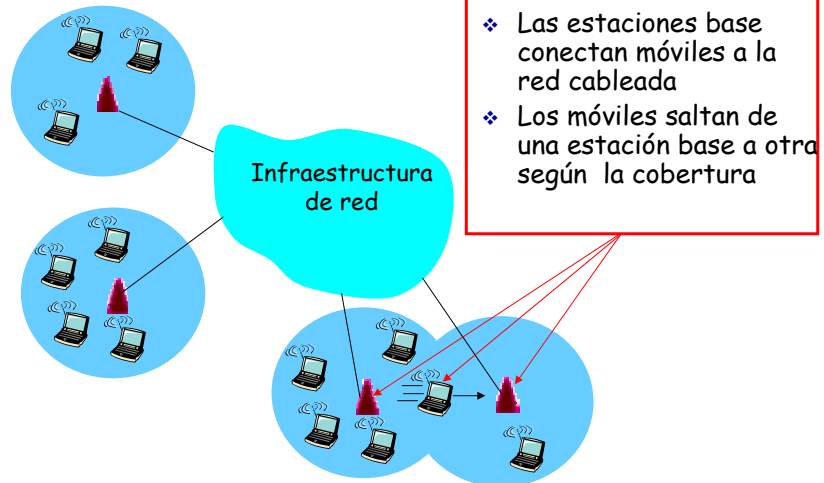
Redes inalámbricas y móviles 6-5

Elementos de una red inalámbrica (III)



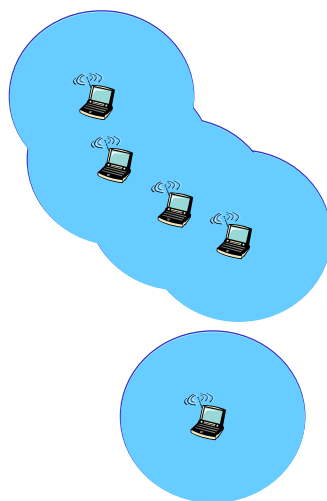
Redes inalámbricas y móviles 6-6

Elementos de una red inalámbrica (IV)



Redes inalámbricas y móviles 6-7

Elementos de una red inalámbrica (V)

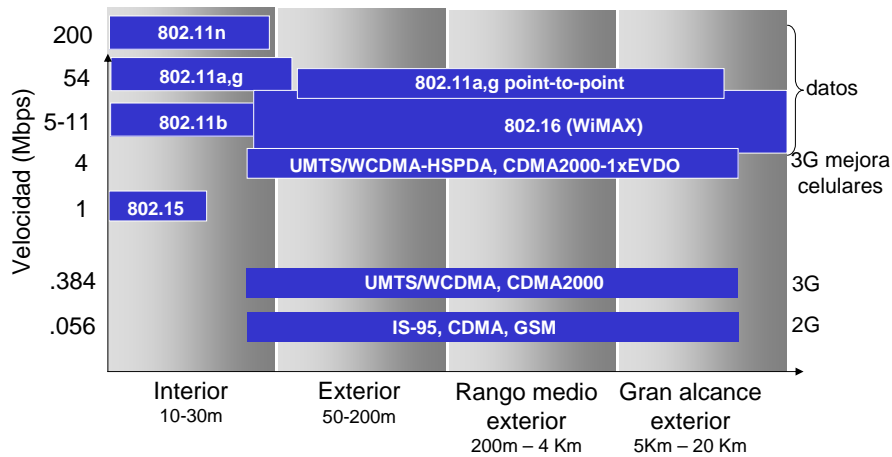


Redes ad hoc

- ❖ No hay estaciones base
- ❖ Los nodos solamente pueden transmitir a otros nodos sin enlace
- ❖ Los nodos se organizan para comunicarse entre ellos como en una red

Redes inalámbricas y móviles 6-8

Características de los estándares inalámbricos seleccionados



Redes inalámbricas y móviles 6-9

Clasificación de las redes inalámbricas

	Único salto	Múltiples saltos
infraestructura (e.j. APs)	hosts conectados a estaciones base (WiFi, WiMAX, celular) que se conectan a redes de mayor tamaño internet	host tiene que saltar por nodos inalámbricos para conectarse a Internet redes de malla
Sin infraestructura	Ni estación base, ni conexión a redes de Internet (Bluetooth, Redes ad hoc)	Ni estación base, ni conexión a redes de Internet. Pueden tener que retransmitir a través de otros nodos MANET, VANET

Redes inalámbricas y móviles 6-10

Clasificación de las redes inalámbricas

	Único salto	Múltiples saltos
infraestructura (ej, APs)	hosts conectados a estaciones base (WiFi, WiMAX, celular) que se conectan a redes de mayor tamaño internet	host tiene que saltar por nodos inalámbricos para conectarse a internet redes de malla
infraestructura	conexión a redes de Internet (Bluetooth, Redes ad hoc)	Ni estación base, ni conexión a redes de Internet. Pueden tener que retransmitir a través de otros nodos MANET, VANET

Redes inalámbricas y móviles 6-11

Índice

6.1 Introducción

Inalámbrico

6.2 Características de los enlaces inalámbricos (CDMA)

6.3 LANS inalámbricas IEEE 802.11 ("Wi-Fi")

6.4 Acceso celular a Internet (arquitecturas, estándares, ej, GSM)

Movilidad

6.5 Direccionamiento y enrutado de usuarios móviles

6.6 IP móvil

6.7 Resumen

Redes inalámbricas y móviles 6-12

Características de las redes inalámbricas (I)

Diferentes de las redes cableadas....

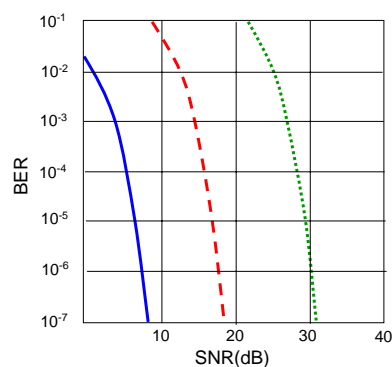
- **Decrece la fuerza de la señal:** la señal de radio se atenúa al cruzar la materia (pérdida de propagación)
- **Interferencia de otros orígenes:** las frecuencias estandarizadas para redes (ej., 2.4 GHz) se comparten por otros dispositivos (ej., móviles); el ruido electromagnético también influye
- **Propagación multicamino:** las señales de radio se reflejan en los objetos y hace que lleguen al receptor por caminos de diferentes longitudes

.... El hacer la comunicación inalámbrica es mucho más difícil, incluso si fuese punto a punto.

Redes inalámbricas y móviles 6-13

Características de las redes inalámbricas (II)

- ❖ SNR: relación señal-ruido
 - Un mayor SNR facilita separar la señal del ruido
- ❖ **compromiso entre SNR y BER**
 - **Dada una capa física:** incrementar potencia → incrementa SNR → se reduce BER (tasa de errores de bit)
 - **Para un SNR dado:** elegir la capa física que satisfaga los requisitos de BER y se obtenga un mayor rendimiento
 - SNR cambia con la modalidad al adaptarse a la capa física (técnica de modulación, velocidad)

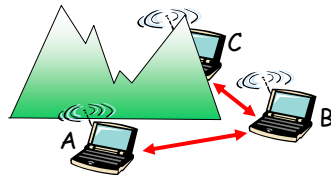


..... QAM256 (8 Mbps)
- - - QAM16 (4 Mbps)
— BPSK (1 Mbps)

Redes inalámbricas y móviles 6-14

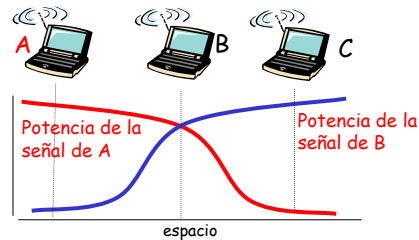
Características de las redes inalámbricas (III)

La existencia de múltiples emisores y receptores crea nuevos problemas (no solamente el acceso múltiple):



Problema de terminal oculto

- ❖ B, A se escuchan entre sí
- ❖ B, C se escuchan entre sí
- ❖ A, C no se escuchan entre sí lo que hace que A, C no se den cuenta de su mutua interferencia en B



Atenuación de la señal:

- ❖ B, A se escuchan entre sí
- ❖ B, C se escuchan entre sí
- ❖ A, C no se escuchan interfiriéndose entre sí con B

Redes inalámbricas y móviles 6-15

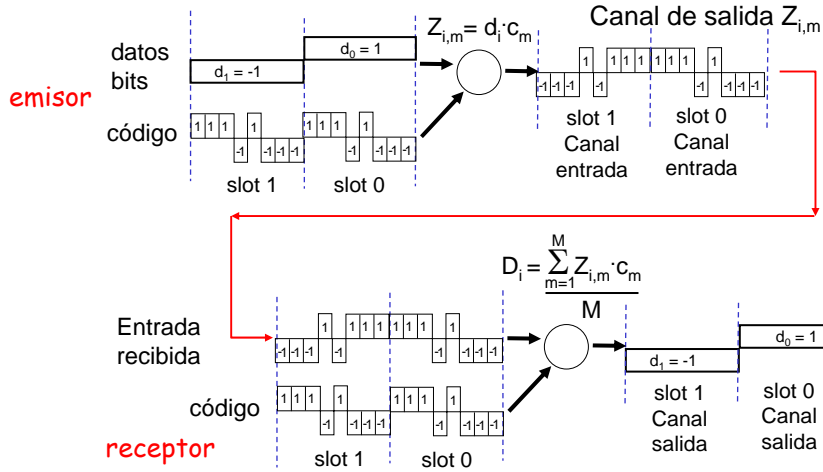
Acceso múltiple por división de código (CDMA)

- ❖ Empleada en varios estándares para canales de difusión inalámbricos (celular, satélite, etc)
- ❖ Se asigna un único código a cada usuario: reparto del canal por código
- ❖ Todos los usuarios comparten la frecuencia pero cada usuario tiene su propio código para codificar los datos
- ❖ **Codificado de la señal** = (datos originales) x (código)
- ❖ **Descodificación**: (señal codificada) x (código) y se recuperan los datos originales
- ❖ Si los códigos son ortogonales permite la transmisión simultánea por parte de varios emisores

Redes inalámbricas y móviles 6-16

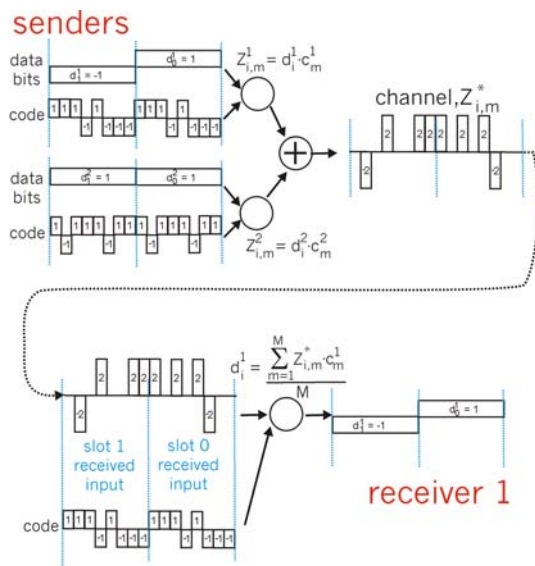
CDMA

Codificación/Descodificación



Nota: representamos el bit 0 como -1.

CDMA: interferencia de dos emisores



Índice

6.1 Introducción

Inalámbrico

6.2 Características de los enlaces inalámbricos (CDMA)

6.3 LANS inalámbricas IEEE 802.11 ("Wi-Fi")

6.4 Acceso celular a Internet (arquitecturas, estándares, ej, GSM)

Movilidad

6.5 Direccionamiento y enrutado de usuarios móviles

6.6 IP móvil

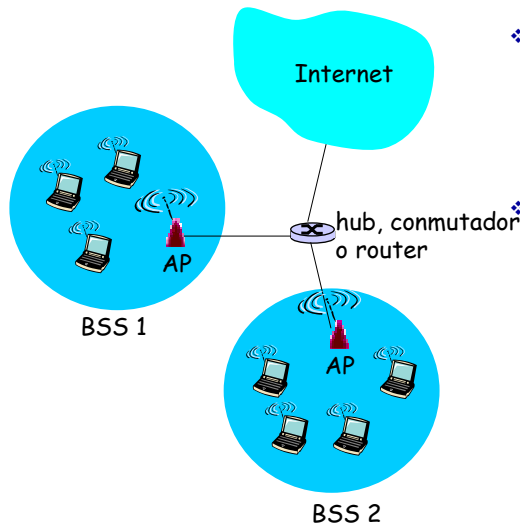
6.7 Resumen

LAN inalámbrica IEEE 802.11

- ❖ **802.11b**
 - 2.4-5 GHz espectro libre
 - Hasta 11 Mbps
- ❖ **802.11g**
 - Rango 2.4-5 GHz
 - Hasta 54 Mbps
- ❖ **802.11a**
 - Rango 5-6 GHz
 - Hasta 54 Mbps
- ❖ **802.11n: múltiples antenas**
 - Rango 2.4-5 GHz
 - Hasta 200 Mbps

-
- ❖ Todas emplean CSMA/CA para acceso múltiple
 - ❖ Todas tiene versión con estaciones base o ad hoc

Arquitectura LAN 802.11



- ❖ El host inalámbrico se comunica con la estación base
 - Estación base = punto de acceso (AP)
- ❖ Conjunto Básico de Servicios (BSS) ("celda") en modo infraestructura:
 - Hosts inalámbricos
 - Puntos de acceso (AP): estaciones base
 - Modo ad hoc: sólo hosts

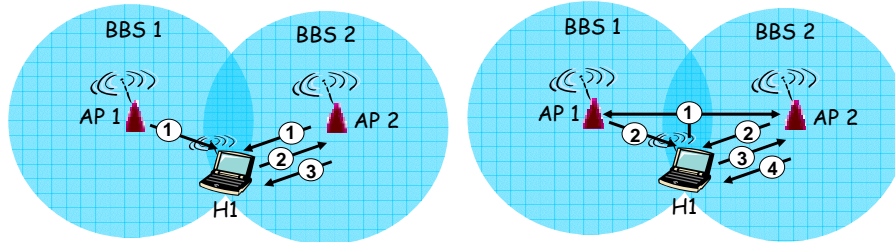
Redes inalámbricas y móviles 6-21

802.11: canales, asociación

- ❖ 802.11b: 2.4GHz-2.485GHz dividen el espectro en 11 canales parcialmente solapados a diferentes frecuencias (dos canales separados por cuatro o más canales no están solapados)
 - El administrador de AP elige la frecuencia para los AP
 - Posible interferencia: el canal puede ser el mismo que los AP adyacentes
- ❖ host: debe *asociarse* con un AP
 - Busca canales, busca tramas de baliza que contendrán el nombre (SSID) del AP y su dirección MAC
 - Elige un AP para asociarse con él
 - Puede requerir autenticación
 - Ejecutará DHCP para conseguir una IP para la subred del AP

Redes inalámbricas y móviles 6-22

802.11: exploración pasiva/activa



Exploración pasiva:

- (1) APs envían tramas de baliza
- (2) Envía Trama de Solicitud de Asociación: desde H1 al AP elegido
- (3) Envía trama de Respuesta de Asociación: desde el AP elegido a H1

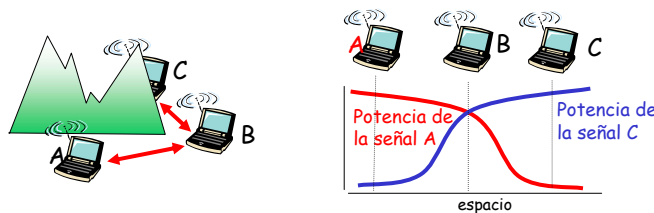
Exploración activa:

- (1) Difusión desde H1 de una trama de solicitud de sondeo
- (2) Envío de tramas de sondeo desde los APs
- (3) Envía Trama de Solicitud de Asociación: desde H1 al AP elegido
- (4) Envía trama de Respuesta de Asociación: desde el AP elegido a H1

Redes inalámbricas y móviles 6-23

IEEE 802.11: acceso múltiple

- ❖ Evita colisiones: 2 ó más nodos transmitiendo a la vez
- ❖ 802.11: CSMA - sondea antes de transmitir
 - No colisiona con transmisiones de otros nodos
- ❖ 802.11: *sin detección de colisión*
 - Dificultad al recibir (sondear colisiones) cuando se transmite debido a la debilidad de las señales (atenuación)
 - No puede sondear todas las colisiones: terminales ocultos, atenuación
 - Objetivo: **evitar colisiones: CSMA/C(ollision)A(avoidance)**



Redes inalámbricas y móviles 6-24

Protocolo MAC IEEE 802.11: CSMA/CA

802.11 emisor

1 si el canal está libre tras **DIFS** entonces

Transmite la trama completa (no CD)

2 si el canal está ocupado

Elige un valor de espera aleatorio

Comienza una cuenta atrás con ese valor mientras detecta el canal inactivo

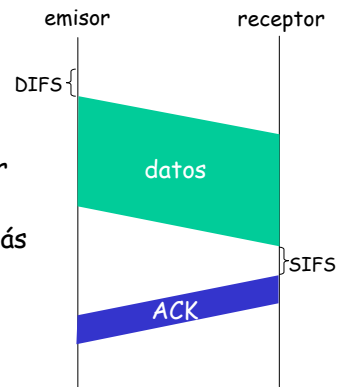
Transmite cuando termina la cuenta atrás

Si no llega ACK, incrementa el valor de espera y vuelve al paso 2

802.11 receptor

- Si la trama se recibe OK

devuelve ACK tras **SIFS** (se requiere ACK debido a los problemas de terminal oculto)



Redes inalámbricas y móviles 6-25

Evitando colisiones (una mejora)

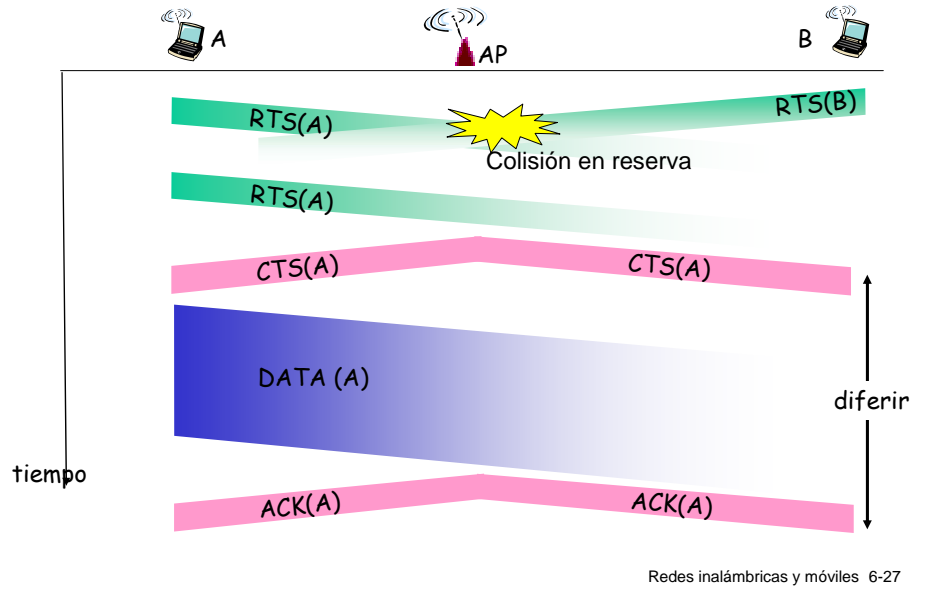
Idea: permitir al emisor reservar el canal (mejor que un acceso aleatorio de las tramas de datos). Con ello se evitarían las colisiones debidas a grandes tramas de datos

- ❖ El emisor transmite pequeños paquetes de solicitud de transmisión (RTS) al AP usando CSMA
 - RTSs pueden colisionar con otros pero son pequeñas
- ❖ AP difunde CTS ("tienes permiso para enviar") en respuesta al RTS
- ❖ CTS lo escuchan todos los nodos, así que...
 - El emisor transmite la trama
 - Otros emisores difieren el envío

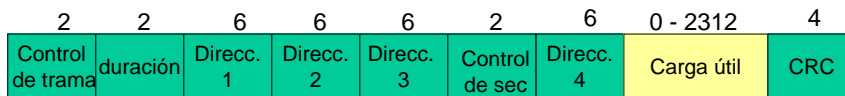
Evita la colisión de tramas de datos mediante el envío de pequeñas tramas

Redes inalámbricas y móviles 6-26

Evitando la colisión: intercambio RTS-CTS



Trama 802.11 : direccionamiento



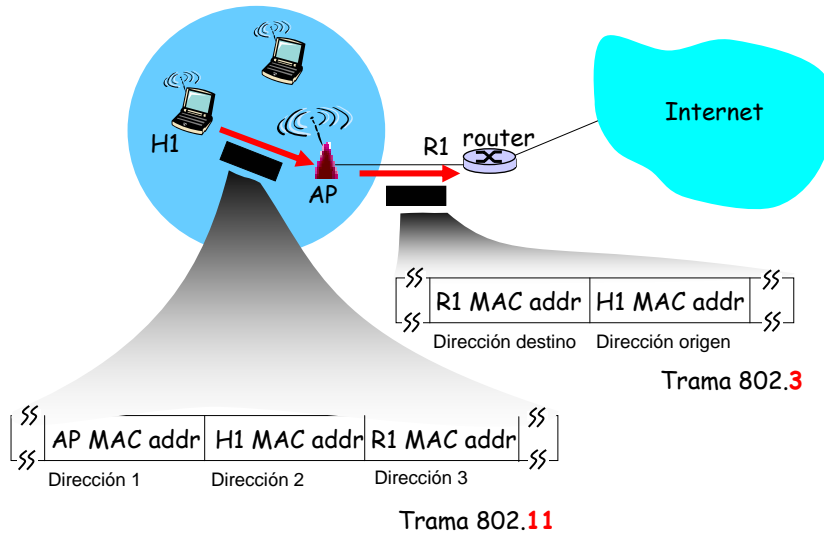
Dirección 1: dirección MAC del host inalámbrico o del AP que recibirán la trama

Dirección 2: dirección MAC del host inalámbrico o del AP que transmite la trama

Dirección 3: dirección MAC del router al que el AP está asociado

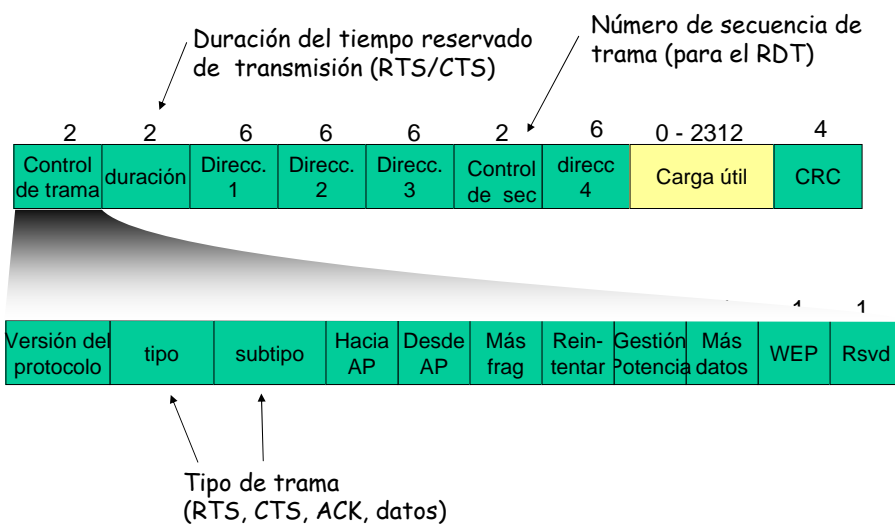
Dirección 4: sólo se emplea en el modo ad hoc

Trama 802.11 : direccionamiento



Redes inalámbricas y móviles 6-29

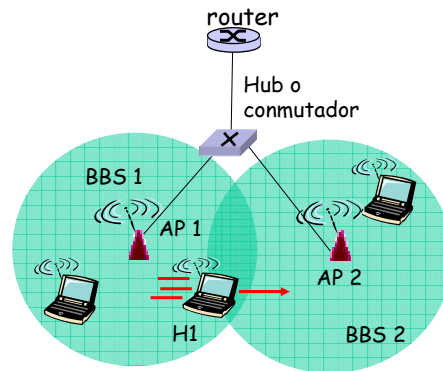
Trama 802.11: más cosas



Redes inalámbricas y móviles 6-30

802.11: movilidad dentro de la misma subred

- ❖ H1 permanece en la misma subred IP: la dirección IP puede seguir siendo la misma
- ❖ conmutador: ¿qué AP se asocia con H1?
 - Autoaprendizaje: el conmutador ve la trama de H1 y "recuerda" el puerto para alcanzar H1. Al moverse H1 a AP2, éste lanza un mensaje de difusión que actualiza la tabla del conmutador.



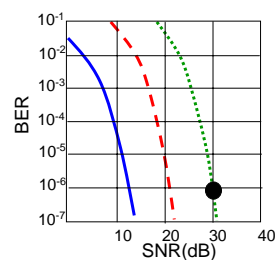
Redes inalámbricas y móviles 6-31

802.11: funciones avanzadas

Adaptación de la velocidad

- ❖ La estación base y el dispositivo móvil cambian dinámicamente la velocidad de transmisión (técnica de modulación de la capa física) según se mueva el dispositivo, SNR cambia

- QAM256 (8 Mbps)
- QAM16 (4 Mbps)
- BPSK (1 Mbps)
- Punto de operación



1. SNR disminuye, BER aumenta al distanciarse el dispositivo de la estación base
2. Cuando BER crece mucho, conmuta a una velocidad de transmisión menor pero con menor BER

Redes inalámbricas y móviles 6-32

802.11: funciones avanzadas

Gestión de la potencia

- ❖ Nodo-al-AP: "paso a dormir hasta la siguiente trama de baliza"
 - AP sabe que no debe transmitir tramas a ese nodo
 - El nodo se despierta antes de la siguiente trama de baliza
- ❖ Trama de baliza: contiene la lista de tramas para ser enviadas a los dispositivos desde el AP
 - El nodo volverá a dormirse hasta la siguiente trama de baliza si no hay tramas para ser enviadas. En otro caso, solicitará que se le envíen las tramas.

Redes inalámbricas y móviles 6-33

Índice

6.1 Introducción

Inalámbrico

6.2 Características de los enlaces inalámbricos (CDMA)

6.3 LANS inalámbricas IEEE 802.11 ("Wi-Fi")

6.4 Acceso celular a Internet (arquitecturas, estándares, ej, GSM)

Movilidad

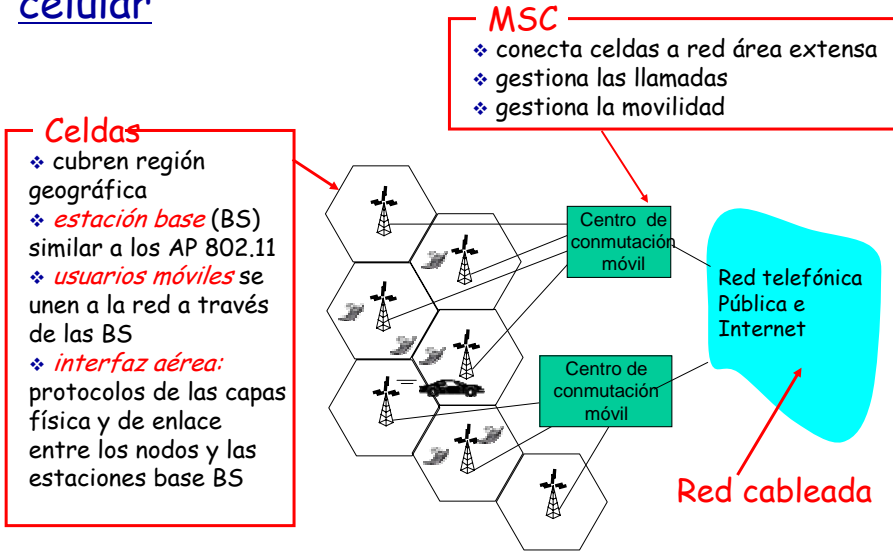
6.5 Direccionamiento y enrutado de usuarios móviles

6.6 IP móvil

6.7 Resumen

Redes inalámbricas y móviles 6-34

Componentes de una arquitectura de red celular

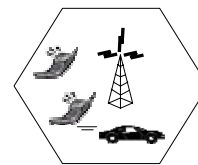


Redes inalámbricas y móviles 6-35

Redes celulares: el primer salto

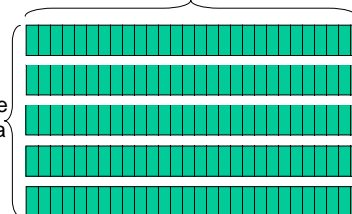
Dos técnicas para compartir el espectro de radio entre los móviles y las BS

- ❖ **FDMA/TDMA combinada**: divide el espectro en bandas de frecuencia y cada banda en franjas de tiempo



Franjas de tiempo

Bandas de frecuencia



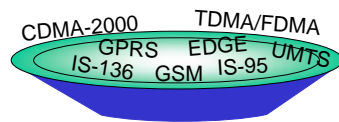
- ❖ **CDMA**: acceso múltiple por división de código

Redes inalámbricas y móviles 6-36

Estándares celulares : resumen

Sistemas 2G: canales de voz

- ❖ IS-136 TDMA: FDMA/TDMA combinada (USA)
- ❖ GSM (global system for mobile communications): FDMA/TDMA combinada
 - El más ampliamente desplegado
- ❖ IS-95 CDMA: acceso múltiple por división en el código



Redes inalámbricas y móviles 6-37

Estándares celulares: resumen

Sistemas 2.5 G: canales de voz y datos

- ❖ Para los que no podían esperar al 3G: 2G extendido
- ❖ Servicio general de paquetes de radio (**GPRS**)
 - Evoluciona del GSM
 - Los datos se envía por múltiples canales (si están disponibles)
- ❖ Mejora la velocidad de datos para evolución global (**EDGE**)
 - También parte de GSM, emplea modulación mejorada
 - Velocidad de datos hasta 384K
- ❖ **CDMA-2000** (fase 1)
 - Velocidad de datos hasta 144K
 - Evolución del IS-95

Redes inalámbricas y móviles 6-38

Estándares celulares: resumen

Sistemas 3G: voz y datos

❖ Servicio Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS)

- Servicio de datos : Acceso de alta velocidad a paquetes tanto en subida como en bajada (HSDPA/HSUPA): 3 Mbps

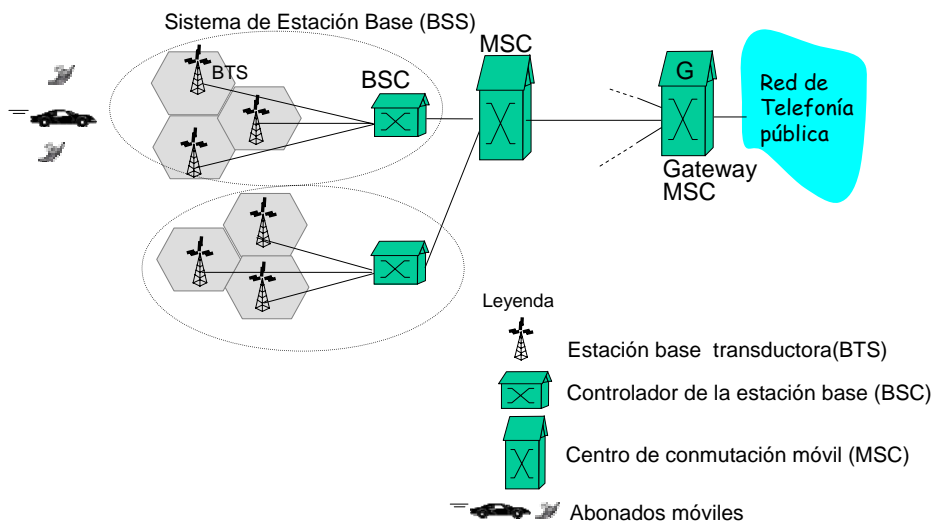
❖ CDMA-2000: CDMA en ranuras TDMA

- Servicio de datos: 1xEvolution Data Optimized (1xEVDO) hasta 14 Mbps

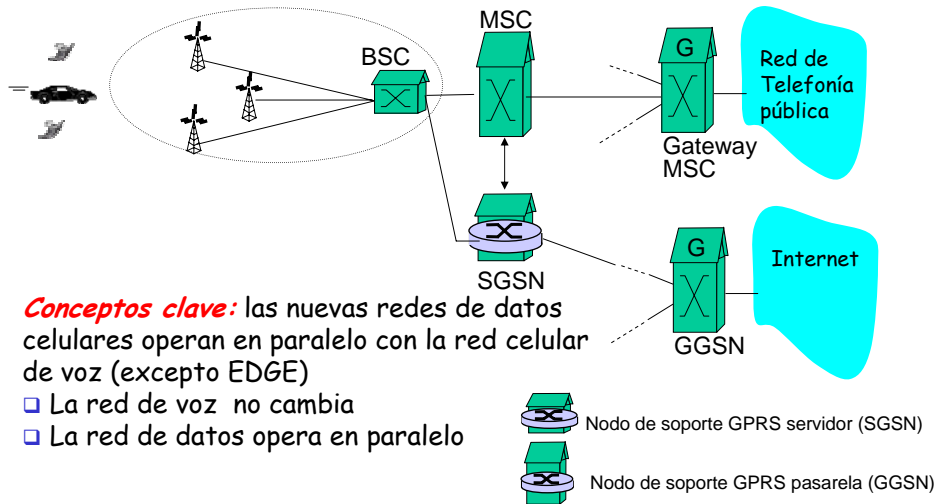
LTE, LTE Advanced, 4G: voz y datos

No compatible con 3G. Mayores velocidades de subida y de bajada (292 Mbps de bajada y 71 Mbps de subida)

Arquitectura de red 2G (voz)



Arquitectura de red 2.5G (voz y datos)



Redes inalámbricas y móviles 6-41

Índice

6.1 Introducción

Inalámbrico

6.2 Características de los enlaces inalámbricos (CDMA)

6.3 LANS inalámbricas IEEE 802.11 ("Wi-Fi")

6.4 Acceso celular a Internet (arquitecturas, estándares, ej, GSM)

Movilidad

6.5 Direccionamiento y enrutado de usuarios móviles

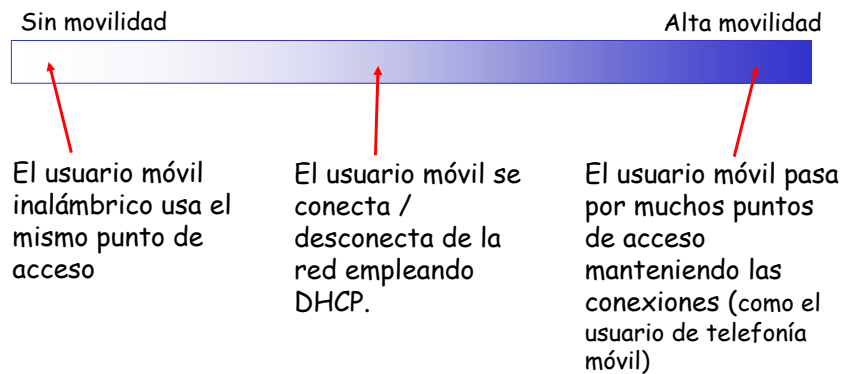
6.6 IP móvil

6.7 Resumen

Redes inalámbricas y móviles 6-42

¿Qué se entiende por movilidad?

- ❖ Espectro de movilidad desde el punto de vista de la **red**:



Redes inalámbricas y móviles 6-43

Movilidad: Vocabulario

Red propia: domicilio permanente de un nodo móvil
(ej, 128.119.40/24)

Agente propio: entidad dentro de la red propia que lleva las funciones de movilidad por cuenta del nodo móvil

Dirección permanente: es la dirección en la red propia, siempre se puede usar para alcanzar el dispositivo
ej., 128.119.40.186



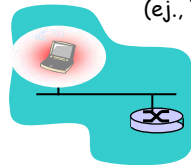
Redes inalámbricas y móviles 6-44

Movilidad: más vocabulario

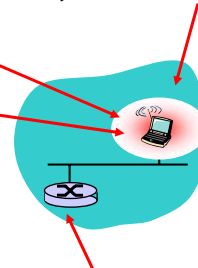
Dirección permanente: permanece constante (ej., 128.119.40.186)

Red ajena: red en la que reside el nodo móvil (ej., 79.129.13/24)

Dirección cedida: dirección en la red ajena. (ej., 79.129.13.2)



Red de área extensa



corresponsal: es la entidad que quiere comunicarse con el nodo móvil



Agente externo: entidad en la red ajena que ayuda al nodo móvil en la gestión de la movilidad

Redes inalámbricas y móviles 6-45

¿cómo contactar con el móvil de un amigo:

Considere unos amigos que cambian frecuentemente de dirección ,
¿Cómo encontrarse?

- ❖ ¿Buscando en las guías telefónicas?
- ❖ ¿Llamando a sus padres?
- ❖ Es de esperar que quiera indicar la dirección



Redes inalámbricas y móviles 6-46

Movilidad: aproximaciones

- ❖ *Que lo manejen los routers:* routers publican la dirección permanente del nodo móvil en la red ajena por medio del intercambio de las tablas de enrutado habituales.
 - Las tablas de enrutamiento indican la localización del nodo móvil
 - No hay cambios en los dispositivos finales
- ❖ *Que lo manejen los dispositivos finales:*
 - *Enrutado indirecto:* la comunicación del correspondal al móvil viaja a través del agente propio y desde el agente propio al móvil.
 - *Enrutado directo:* el correspondal obtiene la dirección cedida del móvil y le envía directamente a él.

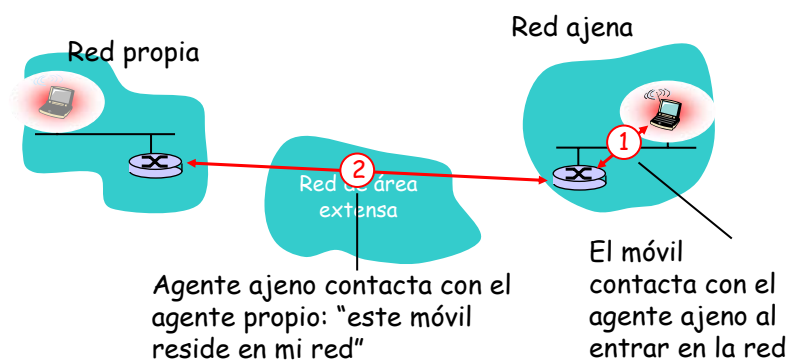
Redes inalámbricas y móviles 6-47

Movilidad: aproximaciones

- ❖ *Que lo manejen los routers:* routers publican la dirección permanente del nodo móvil en la red ajena por medio del intercambio de las tablas de enrutado habituales.
 - Las tablas de enrutamiento indican la localización del nodo móvil
 - No hay cambios en los dispositivos finales
- ❖ *Que lo manejen los dispositivos finales:*
 - *Enrutado indirecto:* la comunicación del correspondal al móvil viaja a través del agente propio y desde el agente propio al móvil.
 - *Enrutado directo:* el correspondal obtiene la dirección cedida del móvil y le envía directamente a él.

Redes inalámbricas y móviles 6-48

Movilidad: registro en la red

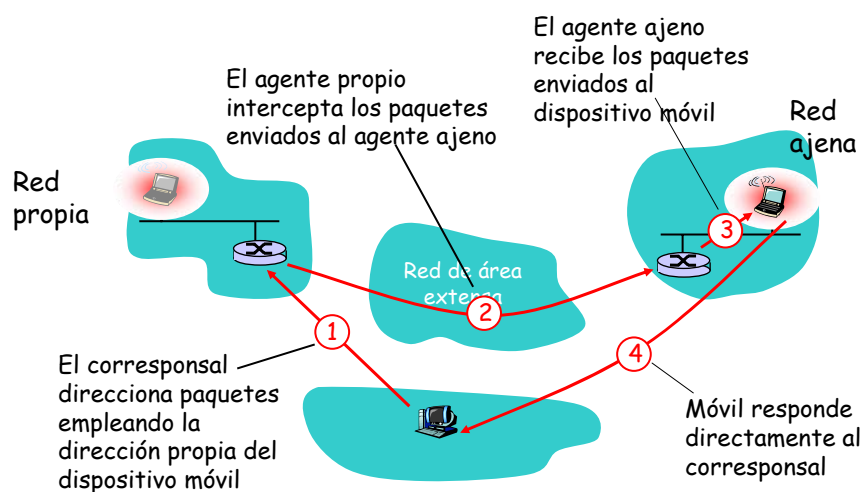


Resultado final:

- ❖ El agente ajeno conoce al dispositivo móvil
- ❖ El agente propio conoce la localización del móvil

Redes inalámbricas y móviles 6-49

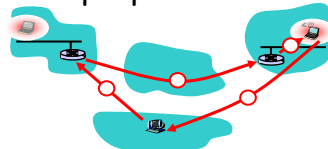
Movilidad vía Enrutado Indirecto



Redes inalámbricas y móviles 6-50

Enrutado Indirecto: comentarios

- ❖ Los dispositivos móviles usan dos direcciones:
 - **Dirección permanente:** empleada por el corresponsal (por lo tanto la localización del móvil es *transparente* al corresponsal)
 - **Dirección cedida:** empleada por el agente propio para reenviar los datagramas al móvil
- ❖ Las funciones del agente ajeno pueden ser llevadas a cabo por el mismo móvil
- ❖ **Enrutado triangular:** corresponsal-red propia-móvil
Ineficiente cuando el corresponsal y el móvil están en la misma red



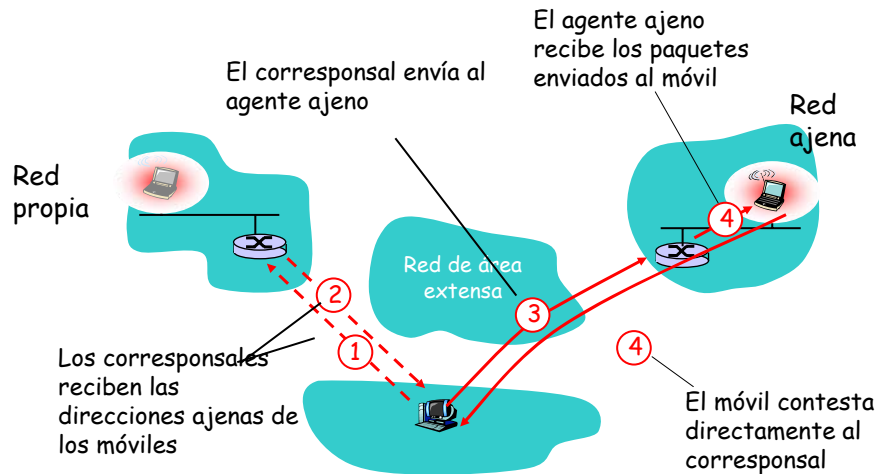
Redes inalámbricas y móviles 6-51

Enrutado indirecto: moviéndose entre redes

- ❖ Suponga que el usuario móvil va a otra red
 - Se registra con un nuevo agente ajeno
 - El nuevo agente ajeno se registra con el agente propio
 - El agente propio actualiza la dirección cedida del móvil
 - Los paquetes se siguen enviando al móvil (pero a una nueva dirección cedida)
- ❖ movilidad, se cambia entre redes ajenas de manera transparente: *las conexiones deben mantenerse*

Redes inalámbricas y móviles 6-52

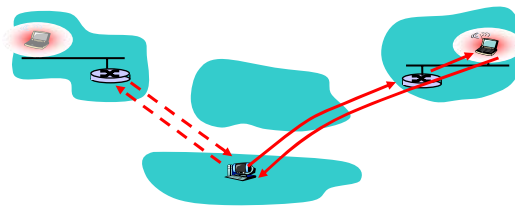
Movilidad vía Enrutado Directo



Redes inalámbricas y móviles 6-53

Movilidad vía Enrutado Directo: comentarios

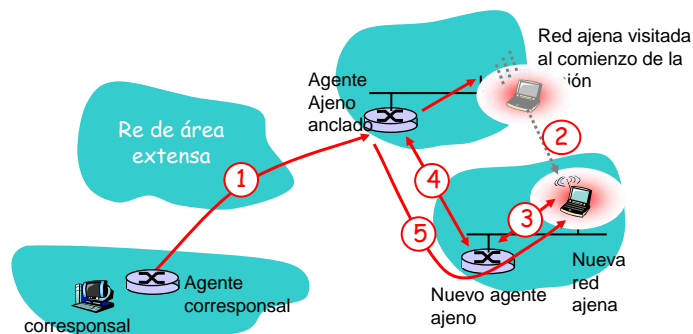
- ❖ Evita la ineficiencia del enrutado triangular
- ❖ **No es transparente al correspondiente:** puesto que el correspondiente debe obtener la dirección cedida del agente propio



Redes inalámbricas y móviles 6-54

Acomodando la movilidad con enrutado directo

- ❖ Anclar agente ajeno: FA durante la primera visita a la red
- ❖ Los datos siempre se enrutan primero por el FA anclado
- ❖ Cuando el móvil se mueve: nuevos FA se las arreglan para obtener los datos a través del viejo FA (encadenamiento)



Índice

6.1 Introducción

Inalámbrico

6.2 Características de los enlaces inalámbricos (CDMA)

6.3 LANS inalámbricas IEEE 802.11 ("Wi-Fi")

6.4 Acceso celular a Internet (arquitecturas, estándares, ej, GSM)

Movilidad

6.5 Direccionamiento y enrutado de usuarios móviles

6.6 IP móvil

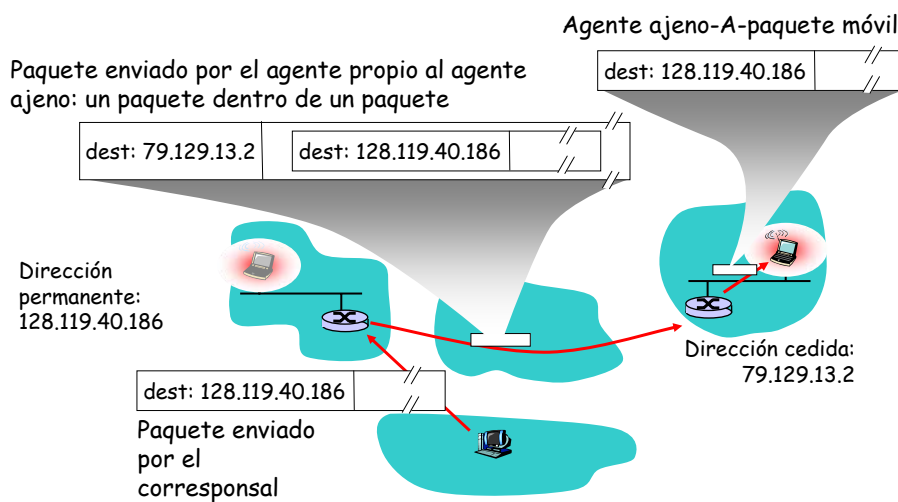
6.7 Resumen

IP móvil

- ❖ RFC 3344
- ❖ Tiene las características que hemos visto:
 - Agentes propios y ajenos, registro de agentes ajenos, direcciones cedidas, encapsulación
- ❖ Hay que estandarizar:
 - Enrutado indirecto de los datagramas
 - Descubrimiento de agentes
 - Registro con el agente propio

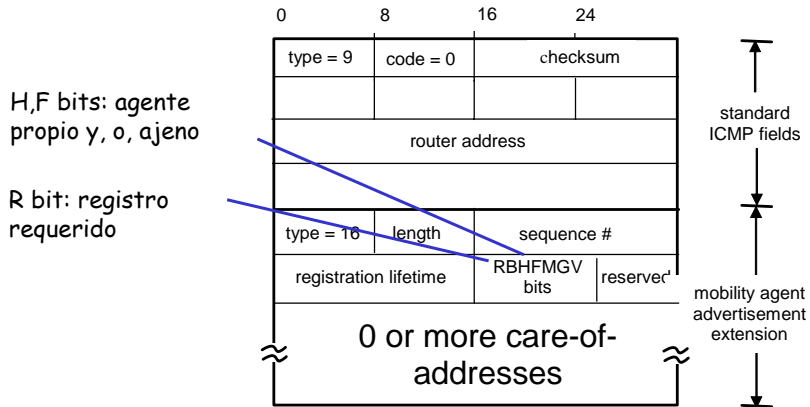
Redes inalámbricas y móviles 6-57

IP móvil: enrutado indirecto



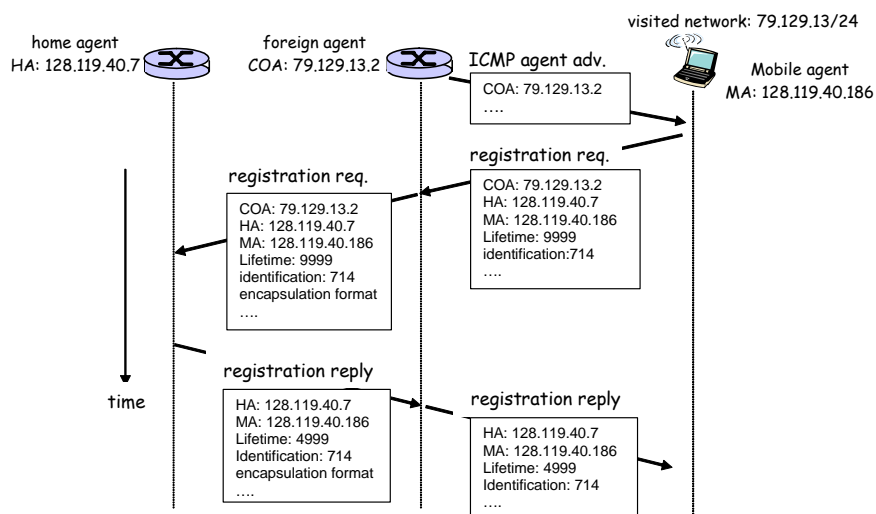
IP móvil: descubrimiento de agentes

- ❖ **Anuncio de agentes:** los agentes propios / ajenos anuncian sus servicios mediante difusión de mensajes ICMP (campo tipo = 9)



Redes inalámbricas y móviles 6-59

IP móvil: ejemplo de registro



Redes inalámbricas y móviles 6-60

Índice

6.1 Introducción

Inalámbrico

6.2 Características de los enlaces inalámbricos (CDMA)

6.3 LANS inalámbricas IEEE 802.11 ("Wi-Fi")

6.4 Acceso celular a Internet (arquitecturas, estándares, ej, GSM)

Movilidad

6.5 Direccionamiento y enrutado de usuarios móviles

6.6 IP móvil

6.7 Resumen

Resumen

Inalámbrico

- ❖ Enlaces inalámbricos:
 - Capacidad, distancia
 - Canales con errores
 - CDMA
- ❖ IEEE 802.11 ("Wi-Fi")
 - CSMA/CA refleja las características del canal inalámbrico
- ❖ Acceso celular
 - arquitectura
 - estándares (ej., GSM, CDMA-2000, UMTS)

Movilidad

- ❖ principios: direccionamiento, enrutado de usuarios móviles
 - Redes propias y ajenas
 - Enrutado directo e indirecto
 - Dirección cedida
- ❖ Casos de estudio
 - IP móvil
- ❖ Impacto en los protocolos de las capas superiores