

Módulo 05

La Capa de Enlace

(Pt. 5)



Redes de Computadoras
Depto. de Cs. e Ing. de la Comp.
Universidad Nacional del Sur



Copyright

- Copyright © 2010-2024 A. G. Stankevicius
- Se asegura la libertad para copiar, distribuir y modificar este documento de acuerdo a los términos de la **GNU Free Documentation License**, versión 1.2 o cualquiera posterior publicada por la Free Software Foundation, sin secciones invariantes ni textos de cubierta delantera o trasera
- Una copia de esta licencia está siempre disponible en la página <http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>
- La versión transparente de este documento puede ser obtenida de la siguiente dirección:

<http://cs.uns.edu.ar/~ags/teaching>

Contenidos

- Servicios provistos por la capa de enlace
- Protocolos de acceso múltiple
- Direcciones de red local y protocolo **ARP**
- Ethernet
- Hubs, bridges y switches
- Enlaces inalámbricos
- Virtualización de enlaces
- Datacenters

IEEE 802.11

- El estándar **IEEE 802.11** agrupa las distintas variantes tecnológicas para redes inalámbricas
- **IEEE 802.11a** (1999):
 - Usa el espectro público de 5 GHz
 - Brinda un ancho de banda de hasta 54 Mbps
 - Brinda un alcance de unos 35 metros
- **IEEE 802.11b** (1999):
 - Usa el espectro público de 2.4 GHz
 - Brinda un ancho de banda de hasta 11 Mbps

IEEE 802.11

- **IEEE 802.11g** (2003):
 - Usa el espectro público de 2.4 GHz
 - Brinda un ancho de banda de hasta 54 Mbps
 - En algún punto, fue la variante más popular
- **IEEE 802.11n** (2009):
 - Usa el espectro público de 2.4 Ghz y/o 5 GHz
 - Brinda un ancho de banda de hasta 600 Mbps
 - Duplica el alcance a unos 70 metros
 - Para simplificar, se lo llama hoy en día **WiFi4**

IEEE 802.11

- **IEEE 802.11ac** (2014):
 - Usa el espectro público de 2.4 Ghz y/o 5 GHz
 - Brinda un ancho de banda de hasta 600 Mbps y de hasta 2600 Mbps, respectivamente
 - Puede hacer uso de hasta 8 flujos en simultáneo
 - Implementa la técnica de beamforming que permite encauzar la señal hacia un determinado receptor
 - Es compatible con el estándar **IEEE 802.11n**
 - Comercialmente se lo denomina **WiFi5**

IEEE 802.11

● IEEE 802.11ax (2021):

- Usa el espectro público de 2.4 Ghz, 5 Ghz y/o 6Ghz
- Puede aprovechar las nuevas bandas sin licencia que aparezcan en el rango de 1 a 7.125 GHz
- En las condiciones correctas, alcanza un ancho de banda de hasta 14 Gbps
- En configuraciones de alta densidad, presentará un desempeño cuatro veces mayor que **IEEE 802.11ac**
- Comercialmente se lo denomina **WiFi6**

IEEE 802.11

● IEEE 802.11be (fines del 2024):

- Última revisión del estándar, en la actualidad activamente en desarrollo, será el futuro **WiFi7**
- Usa el espectro público de 2.4 Ghz, 5 Ghz y/o 6Ghz
- Se estima que en las condiciones correctas alcance un ancho de banda de hasta 46/l Gbps
- Incorpora un conjunto de tecnologías tendientes a disminuir la latencia (¡se habla de dividirla por cien!)
- Todavía no está a disposición, ya que las especificaciones técnicas están siendo debatidas

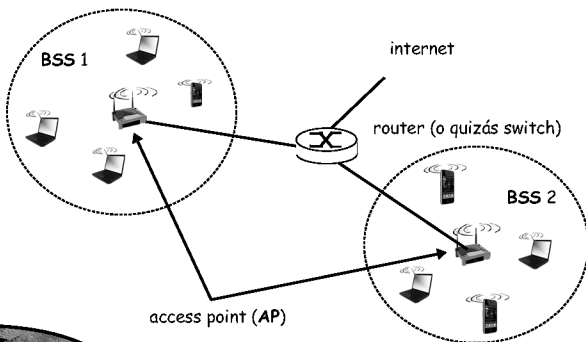
Modalidades de operación

- Las redes inalámbricas especificadas por el estándar **IEEE 802.11** contemplan dos modalidades de operación:
 - Modalidad con estación base
 - Modalidad ad-hoc
- Cada una de estas modalidades fue concebida para resolver problemas diferentes
- Al momento de su creación no se anticipó el nivel de adopción masivo que tendrían

Modalidad con estación base

- Características de la operatoria bajo la modalidad con estación base:
 - Los nodos inalámbricos se comunican exclusivamente con una estación base
 - La estación base se denomina punto de acceso, o también access point (**AP**)
 - Cada **AP** constituye una celda, la que se denomina en la jerga **BSS** (Basic Service Set)
 - Los **BSS** se combinan entre sí para formar un sistema de distribución (**DS**)

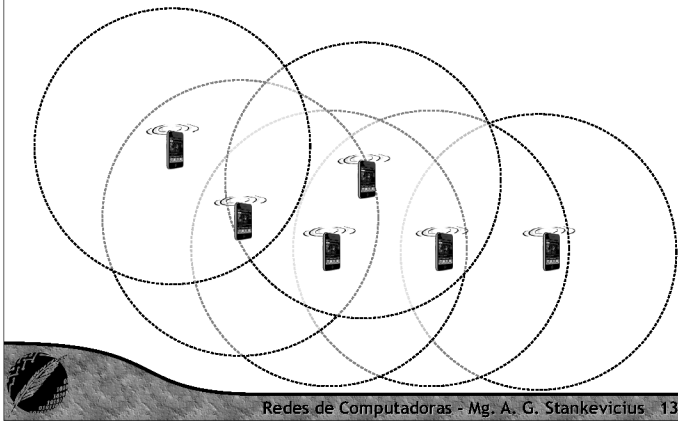
Modalidad con estación base



Modalidad ad-hoc

- Características de la operatoria bajo la modalidad ad-hoc:
 - No requiere hacer uso de un **AP**
 - Los nodos inalámbricos se comunican directamente entre sí
 - Las tramas puede tener que visitar uno o más nodos intermedios hasta alcanzar su destino
- Aplicaciones:
 - Conectividad en una reunión, dentro del auto, etc.
 - Conectividad en el campo de batalla

Modalidad ad-hoc



Proceso de asociación

- El espectro a disposición de los APs se particiona en sendos canales
 - El administrador del AP elige en qué canal operará
 - Existe la posibilidad de colisionar con otros APs que operen en el mismo canal
- Como primera medida los dispositivos deben asociarse a un determinado AP:
 - A tal efecto, se escudriñan los canales a la espera de una trama faro (beacon frame) conteniendo el nombre (SSID) y la dirección física del AP

Enlaces inalámbricos

- Peculiaridades de los enlaces inalámbricos:
 - Las señales de radio se atenúan de manera cuadrática a medida que se propagan por el espacio
 - Son altamente sensibles a la interferencia electromagnética de múltiples fuentes (otras redes inalámbricas, teléfonos inalámbricos, motores, etc.)
 - Las señales de radio también se reflejan en las paredes y en el piso, por lo que arriban a destino múltiples "ecos" con pequeñas diferencias de tiempo
- ¡Esto torna la comunicación mucho más difícil!

Ponete los cortos que entrás...

enumeramos los principales factores que pueden atenuar la señal de un enlace inalámbrico:

En un enlace inalámbrico, varios factores pueden causar la atenuación de la señal, afectando la calidad y la fiabilidad de la comunicación. Aquí están los principales factores que pueden atenuar la señal de un enlace inalámbrico:

1. Distancia:

- A mayor distancia entre el transmisor y el receptor, mayor será la atenuación de la señal. La intensidad de la señal disminuye proporcionalmente al cuadrado de la distancia (ley del inverso del cuadrado).

2. Obstrucciones físicas:

- Objetos físicos como paredes, techos, muebles, árboles y montañas pueden bloquear o desviar la señal. Materiales como metales, concreto y ladrillo tienden a causar una mayor atenuación.

3. Interferencia electromagnética:

- Otros dispositivos electrónicos y fuentes de radiación electromagnética, como microondas, teléfonos inalámbricos, routers Wi-Fi cercanos y dispositivos Bluetooth, pueden interferir con la señal inalámbrica, causando degradación.

4. Frecuencia de la señal:

- Las señales de alta frecuencia (como las de 5 GHz) tienden a tener una mayor atenuación en comparación con las de baja frecuencia (como las de 2.4 GHz) debido a su menor capacidad de penetrar obstáculos y su mayor absorción por parte de la atmósfera.

5. Absorción por el medio:

- Diferentes materiales en el medio ambiente, como el agua, pueden absorber la señal inalámbrica. Por ejemplo, la humedad y la lluvia pueden atenuar y atenuar las señales de radiofrecuencia.

6. Desvanecimiento (Fading):

- El desvanecimiento puede ocurrir debido a la multipropagación, donde las señales reflejadas, refractadas y difractadas llegan al receptor con diferentes fases y amplitudes, causando interferencias constructivas y destructivas.

7. Dispersión (Scattering):

- La dispersión ocurre cuando la señal se encuentra con partículas pequeñas en el aire, como gotas de agua o polvo, causando una desviación de la dirección de la señal y atenuación.

8. Ruido ambiental:

- El ruido de fondo general en el entorno, como el ruido térmico y otros fuentes de ruido no deseadas, puede contribuir a la degradación de la señal.

9. Polarización de la antena:

- La alineación incorrecta de la polarización de las antenas transmisora y receptora puede causar una pérdida de señal. La señal se atenua si las antenas no están correctamente polarizadas.

10. Reflexión:

- La señal puede reflejarse en superficies como edificios, agua y el suelo, causando caminos múltiples (multipath) que pueden interferir entre sí y atenuar la señal efectiva.

11. Interferencia de canal:

- En redes Wi-Fi, el uso de canales superpuestos por múltiples dispositivos puede causar interferencia y degradación de la señal.

12. Pérdidas en las conexiones:

- Las pérdidas en los conectores y cables de la antena pueden atenuar la señal antes de que sea transmitida o recibida.

Enlaces inalámbricos

- El parámetro **SNR** (Signal to Noise Ratio) mide qué tan clara resulta la señal transmitida por sobre el ruido de fondo (white noise)

→ Un alto **SNR** trae aparejado una mejor probabilidad de transmitir un determinado dato correctamente

- El parámetro **BER** (Bit Error Rate) mide la tasa de error observada

→ A más potencia, mejor **SNR** y por ende menor **BER**

→ Para un dado **SNR**, la única manera de controlar el **BER** es moderar el desempeño del enlace

Protocolo MAC inalámbrico

- Dada las características de la tecnología inalámbrica, si dos o más nodos transmiten en simultáneo se producirá una colisión

- El protocolo **CSMA** parece adecuado, ya que:

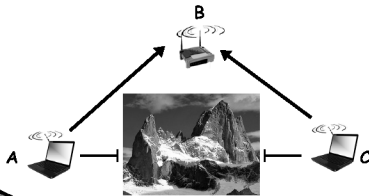
→ Con un emisor único se puede usar la totalidad del ancho de banda disponible

→ Se evitan colisiones sensando primero el estado del canal compartido antes de emitir

- Lamentablemente, la detección de colisiones no funciona con los enlaces inalámbricos

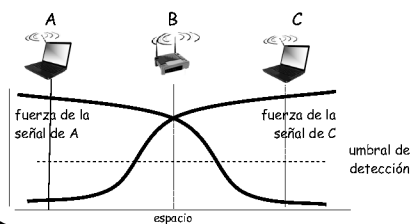
Terminal oculta

- El algoritmo **CSMA** sólo puede ser usado si todos los nodos son capaces de detectar que se produjo una colisión
- En las redes inalámbricas el fenómeno de la terminal oculta puede provocar que no todos los nodos se den cuenta de que se produjo una colisión



Terminal oculta

- La atenuación de la señal es suficiente como para que **A** y **C** no se reconozcan entre sí
- No obstante, las señales tanto de **A** como de **C** alcanzan a interferirse en **B**



Terminal oculta

- El fenómeno de la terminal oculta afecta severamente el desempeño de la celda
- Se han ensayado distintas propuestas para solucionar este problema:
 - Incrementar la potencia de transmisión de los nodos
 - Hacer uso de antenas omnidireccionales
 - Remover los obstáculos entre los nodos
 - De no ser esto posible, repositionar las antenas
 - Resolver el problema a nivel de protocolo de enlace

Protocolo CSMA 802.11

- El protocolo **MAC** del estándar **IEEE 802.11** adopta una organización al azar
 - Recordemos que esta organización contempla la posibilidad de que se produzcan colisiones
 - Para minimizar la aparición de colisiones, se adopta el protocolo **CSMA**
 - No obstante, no es posible implementar la variante **CSMA/CD**, por tratarse de enlaces inalámbricos
 - Se desarrolló un nuevo protocolo **MAC** que se focaliza en directamente evitar las colisiones: el **CSMA/CA**

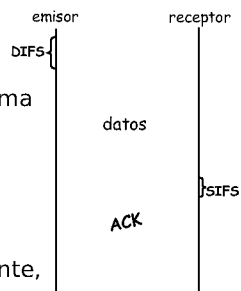
Protocolo CSMA 802.11

● Emisor CSMA 802.11:

- Si el canal se sensa libre por **DIFS** microsegundos se procede a transmitir la totalidad de la trama
- En cambio, si el canal se sensa ocupado, se demora el acceso de forma exponencial

● Receptor CSMA 802.11:

- Si se recibe la trama correctamente, se envía una confirmación luego de **SIFS** microsegundos



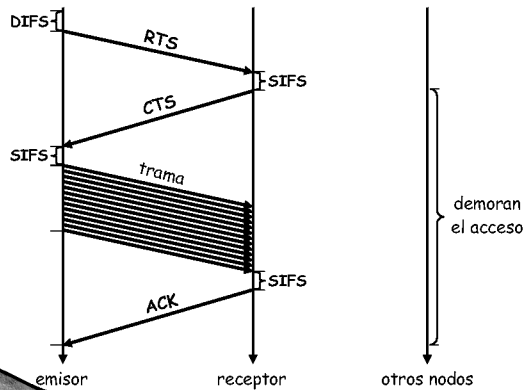
Protocolo CSMA/CA

- El problema de la terminal oculta de todas formas desperdicia ancho de banda
 - Si dos nodos, ocultos uno del otro, intentan transmitir una trama completa hacia el **AP**, se va a desperdiciar la totalidad del ancho de banda por todo ese tiempo
- La solución implementada en **IEEE 802.11** consiste de intercambiar unos pequeños mensajes de reserva anticipada del canal
 - En el peor de los casos, solo se estarían colisionando estos pequeños mensajes, minimizando el desperdicio del ancho de banda

Protocolo CSMA/CA

- La clave de la solución radica en que los pares de emisor/receptor involucrados en la colisión han de compartir necesariamente algún nodo:
 - El emisor transmite un mensaje corto denominado **RTS** (Request To Send), el cual indica por cuánto tiempo estará ocupado el canal
 - El receptor contesta con otro mensaje corto denominado **CTS** (Clear To Send)
 - Los restantes nodos (incluyendo la terminal oculta) toman nota de por cuánto tiempo va a estar ocupado el canal en su contador **NAV** interno

Protocolo CSMA/CA

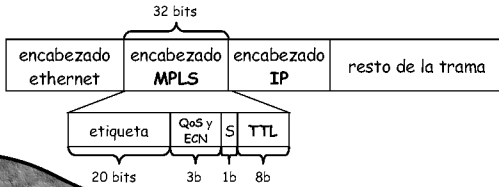


Multiprotocol Label Switching

- La tecnología **MPLS** (Multiprotocol Label Switching) es un estándar relativamente reciente empleada a nivel de esta capa
 - La idea era lograr resolver el forwarding de datagramas **IP** a una mayor velocidad
 - Para lograrlo, la resolución del forwarding se hace consultando un campo de tamaño fijo (en vez de determinar el prefijo más largo)
 - Esta estrategia ha probado su efectividad en la implementación de los circuitos virtuales de **ATM**

Multiprotocol Label Switching

- Los routers capaces de procesar paquetes **MPLS** se los denomina label-switched routers
 - La decisión del forwarding se realiza sólo inspeccionando la etiqueta **MPLS** y no el **IP** destino
 - Esta independencia redundante en una mayor flexibilidad (la ruta puede cambiar sin involucrar por caso a **BGP**)



Datacenters

- El requerimiento de conectividad dentro de un datacenter resulta especialmente desafiante
 - Decenas de miles o hasta cientos de miles de servidores, por lo general fuertemente acoplados entre sí, amuchados en un pequeño espacio
- Los datacenters son un componente esencial en la migración de las operaciones de las empresas al cloud
 - Por caso, tanto Amazon, Microsoft y Google ofrecen como servicio hacer uso de sus datacenters

Datacenters



¿Preguntas?
