

# Contents

<b>1</b>	<b>introduccion</b>	<b>3</b>
1.1	hardware . . . . .	3
1.2	software de red . . . . .	3
1.2.1	jerarquia de protocolos . . . . .	3
1.2.2	aspectos de diseño para cada capa . . . . .	3
1.2.3	tipos de servicios . . . . .	4
1.2.4	relacion entre servicios y protocolos . . . . .	4
1.3	modelos de referencia . . . . .	4
1.3.1	modelo osi . . . . .	4
1.3.2	modelo tcp/ip . . . . .	5
1.3.3	comparacion tcp/ip osi . . . . .	6
1.3.4	defectos de osi . . . . .	6
1.3.5	defectos de tcp/ip . . . . .	6
<b>2</b>	<b>capa fisica</b>	<b>7</b>
2.1	conceptos . . . . .	7
2.2	medios de transmision guiados . . . . .	7
2.2.1	medios magneticos . . . . .	7
2.2.2	par trenzado . . . . .	7
2.2.3	cable coaxial . . . . .	7
2.2.4	lineas electricas . . . . .	7
2.2.5	fibra optica . . . . .	8
2.3	transmision inalambrica . . . . .	8
2.3.1	espectro electromagnetico . . . . .	8
2.3.2	radiotransmision . . . . .	8
2.3.3	transmision por microondas . . . . .	9
2.3.4	transmision infrarroja . . . . .	9
2.3.5	transmision por ondas de luz . . . . .	9
2.4	satelites de comunicacion . . . . .	9
2.4.1	satelites geoestacionarios . . . . .	9
2.4.2	ventajas de los satelites sobre la fibra optica . . . . .	9
2.5	modulacion digital y multiplexacion . . . . .	10
2.5.1	transmision en banda base . . . . .	10
2.5.2	transmision pasa-banda . . . . .	11
2.5.3	multiplexacion por division de frecuencia . . . . .	11
2.5.4	multiplexacion por division de tiempo . . . . .	11
2.5.5	multiplexacion por division de codigo . . . . .	12
<b>3</b>	<b>capa de enlace</b>	<b>12</b>
3.1	cuestiones de diseño . . . . .	12
3.1.1	servicios dados a la capa de red . . . . .	12
3.1.2	entramado . . . . .	12
3.1.3	control de errores . . . . .	13
3.1.4	control de flujo . . . . .	13

3.2	deteccion y correccion de errores . . . . .	13
3.3	protocolos de enlace de datos . . . . .	14
3.3.1	paquetes sobre sonet . . . . .	14
3.3.2	ppp . . . . .	14
<b>4</b>	<b>subcapa control acceso al medio</b>	<b>14</b>
4.1	problema de asignacion de canal . . . . .	14
4.1.1	asignacion estatica . . . . .	14
4.1.2	supuestos para la asignacion dinamica . . . . .	15
4.2	protocolos de acceso multiple . . . . .	15
4.2.1	aloha . . . . .	15
4.2.2	protocolos de acceso multiple con deteccion de portadora . . . . .	15
4.2.3	protocolos libres de colisiones . . . . .	16
4.2.4	protocolos de contencion limitada . . . . .	16
4.2.5	protocolos de lan inalambrica . . . . .	17
4.3	ethernet . . . . .	17
4.3.1	capa fisica de ethernet clasica . . . . .	17
4.3.2	protocolo de subcapa mac para ethernet clasica . . . . .	17
4.3.3	ethernet conmutada . . . . .	18
4.3.4	fast ethernet . . . . .	18
4.3.5	gigabit ethernet . . . . .	18
4.3.6	10 gigabit ethernet . . . . .	18
4.4	redes lan inalambricas . . . . .	18
4.4.1	wi-fi o wlan . . . . .	19
4.4.2	wpan . . . . .	20
4.4.3	sistema de telefonía y comunicaciones móviles . . . . .	21
4.5	conmutacion de la capa de enlace de datos . . . . .	23
4.5.1	usos de puentes . . . . .	23
4.5.2	puentes de aprendizaje . . . . .	23
4.5.3	puentes con arbol de expansion . . . . .	23
4.5.4	redes lan virtuales . . . . .	24
<b>5</b>	<b>capa de red</b>	<b>24</b>
5.1	aspecto de diseño . . . . .	24
5.1.1	conmutacion de paquetes de almacenamiento y reenvio . . . . .	24
5.1.2	servicios proporcionados a la capa de transporte . . . . .	24
5.1.3	implementacion del servicio sin conexion . . . . .	24
5.1.4	implementacion del servicio orientado a la conexion . . . . .	24
5.2	algoritmos de enrutamiento . . . . .	25
5.2.1	principio de optimizacion . . . . .	25
5.2.2	algoritmo de la ruta mas corta . . . . .	25
5.2.3	inundacion . . . . .	25
5.2.4	enrutamiento por vector de distancia . . . . .	25
5.2.5	enrutamiento por estados de enlace . . . . .	26
5.3	ipv4 . . . . .	26
5.3.1	objetivos . . . . .	26

5.3.2	clases de direcciones . . . . .	26
5.3.3	packet switching . . . . .	26
5.3.4	ruteo . . . . .	27
5.3.5	direcciones privadas . . . . .	27
5.3.6	subredes ip . . . . .	27
5.4	icmp: internet control message protocol . . . . .	27
5.4.1	funciones . . . . .	27
5.4.2	tipos . . . . .	28
5.5	arp: address resolution protocol . . . . .	28

# 1 introduccion

## 1.1 hardware

## 1.2 software de red

### 1.2.1 jerarquia de protocolos

- organizacion por capas. cada capa tiene una funcion diferenciada e independiente
- intercambio de mensajes segun el protocolo de cada capa
- en realidad los mensajes bajan hasta la capa inferior (medio fisico), donde se realiza la comunicacion
- interfaz bien definida para comunicacion entre capas
- arquitectura de red: conjunto de capas y protocolos
- pila de protocolos: lista de protocolos usados por una arquitectura

### 1.2.2 aspectos de diseño para cada capa

- codigos de deteccion (y posible correccion) de errores
- enrutamiento: eleccion de una ruta para enviar informacion
- distribucion de protocolos en capas
- mecanismos para embalar, desembalar y transmitir
- escalabilidad
- asignacion eficiente de recursos
- uso del ancho de banda (multiplexado estadistico, fraccion fija)
- control de flujo
- confidencialidad, autenticacion e integridad

### 1.2.3 tipos de servicios

#### 1. orientados a la conexion

- se establece la conexion, se usa y se libera
- en la mayoría de los casos se preserva el orden
- como una linea telefonica

#### 2. no orientados a la conexion

- cada mensaje lleva la direccion de destino completa
- cada mensaje es enrutado en forma independiente
- como el sistema postal

#### 3. confiables

- nunca pierden datos
- acuse de recibo
- introduccion de sobrecarga y retardos

#### 4. no confiables

	confiable	no confiable
conexion	secuencia de mensajes	voz sobre ip
	flujo de bytes	
no conexion	mensajes de texto	mails

### 1.2.4 relacion entre servicios y protocolos

- un servicio se define como un conjunto de primitivas que una capa proporciona a la que esta encima de ella
- el servicio define el que pero no el como
- protocolo son las reglas de formato y significado de los paquetes o mensajes que se intercambian en la misma capa
- servicio se relaciona con las interfaces entre capas
- protocolo se relaciona con los paquetes que se envian entre distintas maquinas

## 1.3 modelos de referencia

### 1.3.1 modelo osi

#### 1. capa fisica

- transmision de bits puros a traves de un canal de transmision
- busca que lleguen los mismos bits que salieron

- señales electricas para representar un bit
  - como se establece y se termina una comunicacion
2. capa de enlace de datos
    - transforma los bits puros en una linea que este libre de errores para la capa de red
    - divide los datos en tramos
    - control de transmision para emisores rapidos y receptores lentos
  3. capa de red
    - como se encaminan los paquetes del origen al destino
    - las rutas se basan en tablas estaticas o dinamicas
    - manejo de congestion
    - solucionar problemas para conectar redes heterogeneas
  4. capa de transporte
    - aceptar datos de la capa superior, dividirlos en unidades mas pequeñas, pasar los datos a la capa de red y asegurar que las piezas lleguen al otro extremo
    - es una verdadera capa de extremo a extremo, a diferencia de las mas bajas
  5. capa de sesion
    - control de dialogo
    - manejo de tokens
    - sincronizacion
  6. capa de presentacion
    - se enfoca en la sintaxis y la semantica de la informacion transmitida
    - maneja estructuras abstractas para intercambiar datos entre computadoras con diferentes representaciones de datos
  7. capa de aplicacion
    - protocolos que los usuarios necesitan

### **1.3.2 modelo tcp/ip**

1. capa de enlace
  - capa sin conexion que opera a traves de distintas redes
  - describe que enlaces se deben llevar a cabo para cumplir con las necesidades de esta capa
2. capa de interred
  - permite que los host inyecten paquetes en cualquier red y que viajen independientemente a su destino

- analogo al sistema de correo
  - define un formato de paquete y un protocolo oficial llamado ip y uno complementario llamado icmp
  - el ruteo de paquetes es el principal aspecto, y la congestion
3. capa de transporte
- permite que entidades en la misma capa mantengan una conversacion
  - tcp, udp
4. capa de aplicacion
- reemplaza las capas de presentacion, sesion y aplicacion del modelo osi
  - telnet, ftp, smtp, dns, http

### **1.3.3 comparacion tcp/ip osi**

- osi fue inventado antes que los protocolos, por eso es mas general. pero los diseñadores no sabian que funcionalidades colocar en cada capa
- con tcp/ip paso al reves. los protocolos encajaron perfectamente, pero no era util para describir redes que no fueran tcp/ip
- osi tiene 7 capas, tcp/ip tiene 4

### **1.3.4 defectos de osi**

- mala sincronizacion: para cuando se desarrollaron los protocolos osi, tcp/ip ya se estaba usando lo suficiente como para que los distribuidores no quisieran apoyar otra pila
- mala tecnologia: el modelo es muy complejo. las capas de sesion y presentacion estan casi vacias, las de red y enlace llenas. son dificiles de implementar e ineficientes.
- malas implementaciones: por su complejidad las primeras implementaciones eran lentas y pesadas. despues mejoraron pero la imagen quedo
- malas politicas: osi se asocio con el gobierno estadounidense y tcp/ip con unix

### **1.3.5 defectos de tcp/ip**

- no se diferencian bien los conceptos de servicio, interfaz y protocolo
- el modelo no es para nada general
- la capa de enlace no es una capa sino una interfaz
- no distingue la capa de enlace y la fisica

## 2 capa fisica

### 2.1 conceptos

- serie de fourier
- ancho de banda
- banda base, pasa-banda
- teorema de nyquist, teorema de shannon
- relacion señal ruido S/N

### 2.2 medios de transmision guiados

#### 2.2.1 medios magneticos

- guardar la informacion en una cinta o medio removible y mandarlo fisicamente
- *nunca subestime el ancho de banda de una camioneta repleta de cintas que viaje a toda velocidad por la carretera*

#### 2.2.2 par trenzado

- dos cables de cobre aislados
- trenzados porque en paralelo forman una antena
- la señal se transmite como la diferencia de voltaje entre los dos cables
- el ruido afecta a los dos cables por igual, el diferencial se mantiene
- sistema telefonico
- informacion analogica o digital
- el ancho de banda depende del grosor de los cables y la distancia. hasta varios mbps
- ethernet usa cuatro, uno para cada direccion
- hasta cat 6: utp (unshielded twisted pair). cat 7: stp

#### 2.2.3 cable coaxial

- mejor blindaje y mayor ancho de banda que los tp, pero mas caro

#### 2.2.4 lineas electricas

- las compañías las han utilizado para comunicacion de baja velocidad
- uso en el hogar para controlar dispositivos
- dificil porque el cableado de las casas no esta hecho para enviar señales a alta frecuencia

### 2.2.5 fibra optica

- lan, internet y ftth
- un pulso de luz indica 1, la ausencia 0
- cuando la luz pasa de un medio a otro (silice a aire) se refracta. el grado depende de los indices de refraccion de los medios. y para cualquier angulo mayor a un angulo critico la luz rebota completamente en el silice
- fibra multimodal: varios rayos de luz en una fibra
- fibra monomodo: un solo rayo de luz por fibra que es mucho mas angosta
- tres bandas: 0.85 1.3 y 1.55 micras. anchos de banda de 25000 a 30000 ghz. la primera tiene mas atenuacion
- fuentes: led y laser

## 2.3 transmision inalambrica

### 2.3.1 espectro electromagnetico

- los electrones se mueven y crean ondas electromagneticas
- las ondas viajan siempre a la velocidad de la luz
- $\lambda f = c$
- espectro directo con salto de frecuencia: transmision dificil de detectar y bloquear. militares, bluetooth, versiones anteriores de 802.11
- espectro directo de secuencia directa: multiples señales comparten ancho de banda. cdma, gps, 802.11b
- uwb

### 2.3.2 radiotransmision

- las ondas de radio son faciles de generar, recorren largas distancias y penetran edificios
- son omnidireccionales
- las propiedades dependen de la frecuencia. baja frecuencia: cruzan obstaculos pero se reduce la potencia rapidamente. alta frecuencia: viajan en linea recta y rebotan en obstaculos
- ondas de alta frecuencia son absorbidas por la lluvia y otros obstaculos
- como recorren grandes distancia la interferencia es un problema
- estan reguladas por los gobiernos
- vlf, lf y mf siguen la curvatura de la tierra. hf van en linea recta y rebotan en la ionosfera, tambien son absorbidas por la tierra



### 2.3.3 transmision por microondas

- relacion S/N alta, pero las antenas deben estar alineadas
- microondas no atraviesan bien los edificios
- comunicacion telefonica, celulares, television. lo que provoco escasez de espectro

### 2.3.4 transmision infrarroja

- comunicacion de corto alcance
- no atraviesan objetos

### 2.3.5 tranmision por ondas de luz

- señalizacion optica mediante laser
- gran ancho de banda a bajo costo y seguro. pero muy dificil de apuntar

## 2.4 satelites de comunicacion

- un satellite es un enorme repetidor de microondas con varios transpondedores. transmite en modo **tublo doblado**
- posicion de los satelites limitadas por el cinturon de van allen

### 2.4.1 satelites geoestacionarios

- satelites que orbitan a la misma velocidad de la que rota la tierra. parecen inmoviles desde el suelo
- los primeros tenian un solo haz de luz que iluminaba la tierra, lo que se conoce como huella
- actualmente tienen multiples haces que se enfocan en una pequeña area geografica. estos son los haces puntuales
- vsat: terminales muy pequeñas que se utilizan para la transmision de tv
- los vsat no se pueden comunicar entre ellos por su baja potencia. para ello usan de intermedio potentes estaciones en la tierra
- aunque las señales viajen a la velocidad de la luz, dada las distancias tienen mas retardo que las comunicaciones terrestres
- los satelites son medios de difusion por naturaleza

### 2.4.2 ventajas de los satelites sobre la fibra optica

- cuando se requiere un despliegue rapido, ganan los satelites
- los satelites pueden enviar a cualquier parte del mundo
- un mensaje que envia un satellite lo pueden recibir miles de estaciones al mismo tiempo

## 2.5 modulación digital y multiplexación

- modulación digital: proceso de convertir bits en la señal que los representan
- transmisión en banda base: la señal ocupa una frecuencia desde 0 hasta un valor máximo que depende de la tasa de señalización. común en cables
- transmisión pasa-banda: la señal ocupa una banda de frecuencias alrededor de la frecuencia de la señal portadora. común en inalámbrico y óptico
- multiplexación: a compartir varias señales por un mismo canal

### 2.5.1 transmisión en banda base

- NRZ(non-return-to-zero): voltaje positivo para el 1 y uno nulo para el 0
- el receptor muestrea a intervalos regulares y convierte de nuevo a bits. la señal no se vera igual a la que se envió por el ruido y el canal
- eficiencia del ancho de banda
  - con nrz la señal puede alternar entre positivo y negativo hasta cada 2 bits. necesita un ancho de banda  $B/2$ hz pasa tasa de B bps
  - una estrategia es usar mas de 2 niveles de señalización. por ejemplo 4 voltajes para representar 2 bits a la vez como un simbolo
  - tasa de bits=tasa de simbolo\*bits por simbolo
  - requiere una potencia mayor en el receptor para diferenciar los niveles
- recuperación del reloj
  - el receptor debe saber cuando termina un simbolo y empieza otro
  - existe un limite en la precision de un reloj para muestrear señales
  - se podría enviar una señal del reloj por otra linea separada, pero seria mejor que si hubiera otra linea se usara para enviar datos
  - un truco seria usar xor entre las dos lineas para enviarlas en una sola. esta es la codificación manchester y se usaba en ethernet clasico. lo malo es que requiere el doble de ancho de banda
  - una estrategia distinta es codificar los datos para que haya suficientes transiciones en la señal. ya que los problemas suceden en largas sucesiones de 0 o 1
  - nrzi: 1 como una transicion y 0 como no hay transicion. usb usa este metodo. largas sucesiones de 1 no tienen problemas, pero de 0 si
  - 4b/5b: se asocian grupos de 4 bits a 5 bits segun una tabla fija, de manera que nunca haya tres 0 seguidos. agrega 25% de sobrecarga. sobran 16 numeros de 5 bits, algunos se usan para control
  - para asegurar transiciones se puede hacer xor con una secuencia pseudoaleatoria. el receptor decodifica con la misma secuencia. esta debe ser facil de generar

- pero la aleatorizacion no garantiza transiciones
- señales balanceadas
  - señales que tienen misma cantidad de voltajes positivos como negativos
  - ayuda a proveer transiciones para la recuperacion del reloj
  - codificacion bipolar: se alterna +1 y -1 voltios para el 1 y 0 voltios para el 0. en redes telefonicas ami
  - 8b/10b tambien para codigo balanceado

### 2.5.2 transmision pasa-banda

- en canales inalambricos no es practico usar rango de frecuencias que empiecen en 0
- se puede tomar una señal en banda base que ocupe de 0 a b hz y desplazarla a otra pasa-banda que ocupe de s a s+b hz
- se puede modular la amplitud (ask), la frecuencia (fsk) o la fase (psk)
- psk puede ser bpsk (binaria) o qpsk (cuadratura)
- se pueden combinar y usar mas niveles, comunmente amplitud y fase
- diagrama de constelacion: forma de visualizar la modulacion combinada ask y psk. qpsk, qam-16, qam-64
- simbolos adyacentes no deben diferir en muchos bits, porque serian mas susceptibles al ruido. para eso se usa codigo gray

### 2.5.3 multiplexacion por division de frecuencia

- fdm: divide el espectro en bandas. cada usuario tiene posesion exclusiva de la banda
- banda de guarda: exceso de banda que mantiene a los canales separados
- ofdm: el ancho de banda del canal se divide en muchas subportadoras que envian de manera independiente. cada subportadora esta diseñada para ser 0 en el centro de las adyacentes. 802.11

### 2.5.4 multiplexacion por division de tiempo

- tdm: los usuarios toman turnos y usan todo el ancho de banda, se toman los datos y se agregan al flujo agregado
- para que funcione debe haber sincronizacion. se puede agregar tiempo de guarda

### 2.5.5 multiplexacion por division de codigo

- cdm: forma de comunicacion de espectro diverso. una señal de banda estrecha se dispersa en una mas amplia. cdma
- hace la señal mas tolerante a interferencias y permite que señales compartan la misma banda de frecuencia
- cdma es extraer la señal deseada mientras lo demas se rechaza como ruido
- cada tiempo de bit se divide en m intervalos llamados chips. en general 64 o 128 chips cada bit. a cada estacion se le asigna una secuencia de chip, un codigo de m bits. para transmitir un 1 envia la secuencia de chip, para el 0 la negacion
- todas las secuencias de chip son ortogonales por pares
- si varias estaciones envian al mismo tiempo se suman

## 3 capa de enlace

### 3.1 cuestiones de diseño

- funciones: dar a la capa de red una interfaz de servicios bien definida. manejar errores. controlar flujo
- toma los datos que obtiene de la capa de red y los encapsula en tramas

#### 3.1.1 servicios dados a la capa de red

- transferir datos de la maquina de origen a la de destino
- 3 servicios razonables
  - sin conexion ni confirmacion de recepcion: tasa de error baja. trafico en tiempo real. ethernet
  - sin conexion con confirmacion: canales no confiables. 802.11 (wifi)
  - con conexion y confirmacion: cada trama esta enumerada. se garantiza que lleguen solo una vez y en orden. canales largos y no confiables. satelites y red telefonía larga

#### 3.1.2 entramado

- la capa fisica no garantiza que el flujo de bits este libre de errores
- un metodo es dividir el flujo en tramas discretas y agregarles una suma de verificacion
- division de tramas
  - conteo de bytes: agrega en el encabezado la cantidad de bytes en la trama. si se altera este valor se pierde la sincronia. rara vez se usa solo

- bytes bandera con relleno de bytes: cada trama inicia y termina con bytes especiales. si aparece la bandera en los datos se antecede un escape. y si aparece un escape se pone otro escape adelante. simplificacion de ppp
- bits bandera con relleno de bits: igual a bytes pero sin la restriccion de 1 byte=8 bits. hdlc. usb. se usan 6 bits en 1 para delimitar. cada vez que se ven 5 bits en 1 se agrega un 0
- violaciones de codificacion de la capa fisica: si se usa por ejemplo 4b/5b en la capa fisica se pueden usar los codigos no utilizados para el inicio y fin de trama

### 3.1.3 control de errores

- asegurar la entrega de datos confiable: retroalimentacion al emisor de lo que esta ocurriendo del otro lado. positiva y negativa
- puede desaparecer la trama por completo, o la de retroalimentacion. para eso tambien se usan temporizadores para enviar nuevamente
- ahora puede que se reciba la misma trama dos veces. para eso se usan numeros de secuencia

### 3.1.4 control de flujo

- que hacer cuando un emisor envia mas tramas de las que el receptor puede aceptar. ejemplo telefono y sitio web
- control de flujo basado en retroalimentacion: el receptor envia cuando puede aceptar mas datos
- control de flujo basado en tasa: el protocolo tiene un mecanismo integrado que limita la tasa de envio

## 3.2 deteccion y correccion de errores

- estrategia: incluir redundancia en los datos.
- codigo de correccion de errores: para que el receptor pueda deducir que datos se quisieron enviar. fec
- codigo de deteccion de errores: para que sepa que hubo un error pero nada mas y solicite retransmision
- en fibra optica conviene la deteccion porque es rapido reenviar. en canales inalambricos es mejor correccion
- los bits de redundancia tambien pueden llegar mal. asi que nunca se podran manejar todos los errores
- los errores en rafaga tienen sus ventajas y desventajas

### 3.3 protocolos de enlace de datos

#### 3.3.1 paquetes sobre sonet

- sonet se utiliza sobre canales de fibra optica de area amplia
- ppp se usa para diferenciar paquetes ocasionales del flujo continuo en el que se transportan

#### 3.3.2 ppp

- ppp orientado a bytes, hdlc a bits
- metodo de entramado sin ambigüedades, tambien maneja deteccion de errores
- protocolo para activar lineas, probarlas, negociar y desactivarlas. lcp
- mecanismo para negociar opciones de capa de red independientemente del protocolo de red usado
- uso de banderas como delimitacion y bytes de escape
- la carga util se mezcla aleatoriamente antes de insertarla en sonet para garantizar mas transiciones que necesita sonet
- configuracion enlace ppp
  - muerto
  - establecer (cuando hay conexion en la capa fisica): intercambio de paquetes lcp
  - autentificar (si lo anterior fue exitoso): se verifican identidades
  - red: paquetes ncp para configurar la capa de red
  - abrir: intercambio de datos
  - terminar

## 4 subcapa control acceso al medio

- los enlaces de red pueden ser punto a punto o difusion
- subcapa mac es la parte inferior de la de enlace de datos

### 4.1 problema de asignacion de canal

- asignar un solo canal de difusion entre varios usuarios competidores

#### 4.1.1 asignacion estatica

- dividir la capacidad mediante el uso de multiplexacion. cuando hay una pequeña cantidad de usuarios constantes
- si varia el numero de emisores y ese numero es grande se vuelve ineficiente
- lo mismo sucede con otras formas estaticas de dividir un canal

#### 4.1.2 supuestos para la asignacion dinamica

- trafico independiente: las estaciones son independientes
- canal unico: hay un solo canal para todas las comunicaciones
- colisiones observables: todas las estaciones pueden detectar colisiones. que seran enviadas luego
- tiempo continuo o ranurado: se puede considerar de las dos maneras
- deteccion de portadora o sin deteccion: si hay deteccion las estaciones pueden saber si el canal esta en uso. sino mandan y despues determinan si tuvo exito

### 4.2 protocolos de acceso multiple

#### 4.2.1 aloha

- aloha puro
  - despues de enviar su trama a la computadora central, esta difunde la trama a todas las estaciones. asi el emisor sabe si llego su trama
  - si la trama fue destruida espera un tiempo aleatorio y manda de nuevo
  - cada vez que dos tramas intenten ocupar el canal al mismo tiempo habra colision, por mas que sea un solapamiento pequeño
- aloha ranurado
  - como el metodo puro pero el tiempo se divide en ranuras discretas
  - sincronizacion por medio de una estacion que emita una señal al comienzo de cada intervalo

#### 4.2.2 protocolos de acceso multiple con deteccion de portadora

- csma persistente-1
  - la estacion escucha el canal para ver si alguien esta enviando, sino envia. si ocurre una colision espera y manda de nuevo
  - el retardo de propagacion tiene un efecto importante en las colisiones. esta posibilidad depende del numero de tramas que quepan, o producto de ancho de banda-retardo
  - en lan como el retardo es pequeño, no habra muchas colisiones
- csma no persistente
  - a diferencia del persistente-1 si el canal esta en uso espera un tiempo y repite el proceso. no se queda escuchando constantemente
  - mejor uso del canal pero mayor retardo
- csma persistente-p

- para canales ranurados
- si el canal esta inactivo, envia con probabilidad  $p$  y espera a la siguiente ranura con probabilidad  $1-p$
- csma con deteccion de colisiones (csma/cd)
  - base de la clasica ethernet
  - el hardware escucha a la vez que envia. si la señal que recibe es distinta a la que envia, esta ocurriendo una colision
  - periodos alternantes de contencion y transmision con periodos de inactividad que ocurran cuando todas las estaciones esten en reposo

#### 4.2.3 protocolos libres de colisiones

- protocolo de mapa de bits
  - cada periodo de contencion consiste en  $n$  ranuras
  - las estaciones envian 1 si tienen tramas para enviar en ese periodo pero solo en su ranura correspondiente
  - luego cuando ya hay conocimiento de quien va a mandar mandan las tramas en orden
  - protocolos de reervacion
- paso de token
  - pasa un pequeño mensaje llamado token de una estacion a otra en un orden determinado. token ring
  - solo puede enviar la que tenga el token
  - cuando la estacion que envio recibe su misma trama la elimina para terminar el ciclo
  - no hace falta que sea un anillo. token bus
- conteo descendente binario
  - anteriores no escalan a redes con miles de estaciones
  - las estaciones que quieren usar el canal envian su direccion binaria y hacen or de todo lo que reciben
  - tan pronto como una estacion ve que una posicion de bit de orden alto, cuya direccion es 0, ha sido sobreescrita por un 1, se da por vencida

#### 4.2.4 protocolos de contencion limitada

- en condicion de carga ligera es preferible contencion
- al reves para libres de colision
- protocolos de contencion limitada combinan los dos anteriores
- protocolo de recorrido de arbol adaptable



- en la ranura 0 todas las estaciones intentan adquirir el canal. si una lo logra bien y sino se dividen en dos grupos y se va formando un arbol de decision
- a mayor carga la busqueda debe iniciar mas abajo en el arbol

#### 4.2.5 protocolos de lan inalambrica

- problema de la terminal oculta
- problema de la terminal expuesta
- maca (acceso multiple con prevencion de colisiones)
  - el emisor estimula al receptor para que envíe una trama corta. las estaciones cercanas tambien escuchan y evitan enviar a la vez
  - rts/cts
  - en caso de colision un transmisor espera un tiempo y vuelve a intentar de nuevo

### 4.3 ethernet

- 802.3
- ethernet clasica (visto hasta ahora) y conmutada (switches)

#### 4.3.1 capa fisica de ethernet clasica

- un solo cable de donde se conectaban todas las maquinas
- ethernet gruesa 500m y 100 maquinas
- ethernet delgada 185m y 30 maquinas
- longitud maxima por segmento conectada con repetidores

#### 4.3.2 protocolo de subcapa mac para ethernet clasica

- multidifusion (a un grupo de estaciones) y difusion (a todas)
- direcciones globalmente unicas
- el tipo especifica a que proceso darle la trama
- campos tipo y longitud en conflicto. despues se usaron los dos: se interpreta segun si es mayor a la maxima longitud
- tamaño de trama maximo y minimo. se puede rellenar
- csma/cd
  - tras una colision el tiempo se divide en ranuras discretas de longitud igual a la ida y vuelta para el peor caso del cable
  - retroceso exponencial binario: despues de la colision n cada estacion espera de 0 a  $2^n-1$  ranuras para enviar de nuevo

### 4.3.3 ethernet conmutada

- se empezaron a usar hubs en vez de un solo cable
- las redes se podian saturar porque los hubs no incrementan la capacidad. de ahi se empezaron a usar los switch
- los switches envian tramas solo a los puertos para los que estan destinadas
- en un switch cada puerto es su dominio de colision independiente
- si el cable es full duplex (comun) no hay colisiones. si es half duplex se usa csma/cd
- en un hub las tramas se envian a todos, aumentando la probabilidad de intrusos
- un switch puede tener conectado un hub, asi actua como un concentrador

### 4.3.4 fast ethernet

- se mantuvo la ethernet anterior pero mas rapida
- se permiten tres medios: par trenzado categoria 3 y 5, fibra optica
- casi todos los switches pueden manejar 10mbps (anterior) o 100mbps (fast)

### 4.3.5 gigabit ethernet

- en half duplex se usa csma/cd, en full duplex no
- con 1gbps una trama minima que es enviada no llegaria a recorrer el cable antes que termine de enviar, por eso de limito la longitud a 200m
- extension de portadora: el hardware agrega datos para hacer la trama de 512 bytes. no hay que hacer cambios de software
- rafaga de tramas: el emisor envia una secuencia de tramas concatenadas en una sola transmision. si hay suficientes tramas, es preferible a la extension de portadora
- en la actualidad la mayoria de las interfaces ethernet soportan los 3 tipos

### 4.3.6 10 gigabit ethernet

## 4.4 redes lan inalambricas

- medio de comunicacion ondas electromagneticas
- tres tipos de redes: wlan, wwan
- modelos basados en pila: osi, tcp/ip, otros

#### 4.4.1 wi-fi o wlan

- capa fisica y enlace de osi
- 802.11
- arquitectura celular: el sistema se subdivide en celdas. cada celda (bss) se controla por una estacion (ap)
- la capa fisica
  - funciones
    - \* codificacion/decodificacion de las señales
    - \* generacion/remocion de cabeceras
    - \* transmision/recepcion de bits
    - \* especificaciones del medio de transmision
  - fhss(espectro disperso con salto de frecuencia): transmision en intervalos de tiempo a frecuencias distintas que el emisor y el receptor conocen. resistente al ruido y mas seguro
  - dsss(espectro disperso con secuencia directa): transmitir con una secuencia de bits de alta velocidad llamados chips. secuencia de barker
  - mimo(multiple entrada/multiple salida): aparatos con varias antenas para generar sub-canales de transmision
- capa de enlace
  - funciones
    - \* capa control acceso al medio
      - transmision: ensamblado de datos en tramas con campos de direccionamiento y deteccion de errores
      - recepcion: desensamblado de tramas, reconocimiento de direcciones y deteccion de errores
      - administra acceso al medio de transmision
    - \* capa control de enlace logico
      - interface a las capas superiores, control de errores y flujo
  - a diferencia de ethernet para wifi debe haber acuse de recibo
  - puede darle el problema de que una estacion no llegue a escuchar cuando otra en la misma red este mandando y se produzcan colisiones. estacion oculta
  - rts/cts
  - dcf: mecanismo basico de csma/ca. primero se verifica que nadie use el canal. las estaciones retardan aleatoriamente las tramas y luego escuchan para evitar colisiones. a veces usan rts/cts
  - pcf: tecnica de interrogacion circular desde el ap. servicios de tipo sincrono
- funciones de deteccion de portadoras

- para determinar si el medio se encuentra disponible
- dos tipos: de la capa física y detección de portadoras virtuales(nav)
- espaciamiento intertrama: cuatro diferentes espaciamientos para diferentes prioridades
- tres tipos de trama: datos, control y gestión
- control de enlace lógico
  - direccionamiento de estaciones conectadas al medio y control de flujo
  - basado en el protocolo hdlc
  - 3 tipos de servicios: sin conexión y sin reconocimiento, con y sin, sin y con

#### 4.4.2 wpan

- dispositivos periféricos
- bluetooth, homerf, zigbee, infrarrojo
- bluetooth
  - clase 1, 2 y 3 según la potencia
  - piconet
    - \* un nodo maestro y hasta 7 nodos esclavos activos. hasta 255 en total
    - \* puede haber varias piconets conectadas de un nodo esclavo puente(scatternet)
    - \* capa física
      - sistema de baja potencia. pocos metros
      - 79 canales de 1mhz. modulación desplazamiento de frecuencia
      - misma banda que 802.11 pero es más probable que bluetooth interfiera con 802.11 que al revés
    - \* capa banda base
      - parecido a la capa mac
      - multiplexión por división de tiempo: el maestro transmite en ranuras pares y los esclavos en impares
      - enlace acl: capa l2cap. mejor esfuerzo
      - enlace sco: datos en tiempo real. se asigna una ranura fija a cada dirección. no se retransmiten datos
    - \* administrador de enlace
    - \* capa adaptación y control de enlace lógico(l2cap)
      - acepta paquetes de capa superior y los divide en tramas
      - maneja la multiplexión
      - se encarga de la calidad de los requerimientos de servicio. establece enlaces, negocia el tamaño de carga útil
- bluetooth smart(ble)

- 40 canales de 2mhz
- no es directamente compatible con el anterior. si en modo dual(smart ready)
- topologia broadcasting
  - \* enviar datos a cualquier dispositivo que este escuchando el medio
  - \* envia periodicamente paquetes de anuncio por canales especificos
- topologia conexiones
  - \* conexion permanente y periodicamente se intercambian datos entre maestro y esclavo
- un dispositivo puede ser maestro y esclavo. un maestro puede ser conectado a multiples esclavos. un esclavo a multiples maestros
- perfiles genericos: perfil de acceso generico(gap), perfil de atributo generico(gatt)
- capa de enlace
  - \* varios estados
    - espera: no transmite ni recibe. modo ahorro
    - anuncio: un esclavo envia paquetes en canales de anuncio. recibe tambien desde un maestro
    - exploracion: escucha los paquetes de anuncio que envian los dispositivos
    - inicializacion: usado por el maestro antes de iniciar una conexion. escucha hasta que recibe el anuncio de un esclavo deseado y se conecta

#### 4.4.3 sistema de telefonía y comunicaciones móviles

- division celular: dividir en zonas pequeñas donde se reutilizan canales disponibles
- reutilizacion de frecuencias
  - se asigna a cada celda un grupo de frecuencias, de modo que no se compartan con celdas vecinas
  - el grupo de celdas que no comparten canales se llama cluster
- modo de funcionamiento
  - simplex: no se puede transmitir y recibir simultaneamente por enlaces de subida y bajada
  - duplex: los dos enlaces usan portadoras distintas y se pueden usar a la vez
- desde 1g hasta 4g+. 5g sin estandarizar
- arquitectura
  - equipo de usuario: contiene una tarjeta que le permita usar el servicio. se conecta a traves de una interfaz de radio
  - red de acceso: sustenta la transmision de radio con los usuarios para conectarlos con la red troncal
  - red troncal: control de acceso, gestion de movilidad, gestion de sesiones de datos, etc
- tipos de redes de acceso: gerand/utran(3g) y e-utran(lte)

- la red troncal se divide en tres
  - dominio de circuitos: todas las entidades que dan servicios basados en conmutacion de circuitos. accesible a traves de geran y utran, e-utran no usa
  - dominio de paquetes: basado en conmutacion de paquetes. dos implementaciones: gprs y epc. gprs fue la primera en contexto de las redes anteriores. epc es la nueva de lte
  - subsistema ims: provision de servicios ip basados en el protocolo sip. asociada a lo multimedia y utiliza servicios del dominio de paquetes
- arquitectura de lte
  - eps(evolved packet system), enteramente basada en paquetes ip, tanto servicios en tiempo real como transmision de datos
  - los componentes son: la red e-utran, el dominio de paquetes epc y el sistema ims
  - contempla el acceso al servicio de redes utran y geran, y otras redes que no pertenecen a la misma familia
  - la red de acceso se compone de una unica entidad enb, que proporciona conectividad entre usuarios y la red troncal
  - enb usa tres interfaces: e-utran uu(usuarios-enb), s1(enb-troncal) y x2(enb-enb)
- capa fisica
  - ofdma para enlace descendente y sc-fdma para ascendente
  - qpsk, 16qam y 64qam descendente, qpsk, 64qam ascendente
- interfaz de radio
  - tres tipos de transferencia: difusion de señalizacion de control, envio de paquetes ip y transferencia de señalizacion de control
- ofdma
  - diversidad multiusuario: la asignacion de subportadoras se realizan dinamicamente
  - diversidad frecuencial: es posible asignar al usuario subportadoras no contiguas, suficientemente separadas
  - robustez en la propagacion multicamino: fuerte a la interferencia intersimbolica por la propagacion por multiples caminos
  - flexibilidad de banda asignada: permite acomodar las velocidades a usuarios segun lo que requieran
  - granularidad en recursos asignables: para acomodar servicios con diferente calidad
  - elevada relacion entre potencia media e instantanea
  - suceptibilidad a errores de frecuencia: cuando hay desplazamientos de frecuencia hay interferencias. se requieren mecanismos de sincronizacion
- sc-fdma

- variaciones reducidas entre potencia media e instantanea
- posibilidad de llevar a cabo de forma sencilla mecanismos de ecualizacion en el dominio de la frecuencia
- capacidad de proporcionar asignacion de banda flexible

## 4.5 conmutacion de la capa de enlace de datos

- lan de lanes con puentes

### 4.5.1 usos de puentes

- universidades y departamentos tienen sus propias redes lan separadas, pero tambien requieren comunicarse entre ellas
- la organizacion puede estar separada geograficamente
- dividir una sola red lan en varias para alivianar la carga
- dos algoritmos para que los puentes sean transparentes

### 4.5.2 puentes de aprendizaje

- cada puerto del switch define un dominio de colision
- si una estacion se quiere comunicar con otra dentro del mismo segmento el switch debe descartar las tramas porque no es necesario reenviarlas
- mediante una tabla hash los switches saben a que segmento pertenecen las estaciones
- cuando llega una trama al puente se fija la hora y actualiza el puerto si cambio. por si se modificaran las topologias
- si no conoce por cual puerto enviar una trama. se envia a todos excepto por el que vino
- **conmutacion al vuelo:** es posible empezar a reenviar ni bien se lea la cabecera de una trama, que contiene la direccion

### 4.5.3 puentes con arbol de expansion

- enlaces redundantes. si se corta uno la red no se dividira en dos. pero crea ciclos en la topologia
- los puentes ejecutan un algoritmo distribuido para construir el arbol
- incluyen la distancia desde la raiz para recordar la ruta mas corta. desactivan los puertos que no formen parte de esa ruta

#### **4.5.4 redes lan virtuales**

- agrupar a los usuarios en diferentes lan para reflejar la estructura de la organizacion
- seguridad: por ejemplo separar servidores de computadoras de uso publico
- carga: algunas lan se usan mucho mas que otras
- trafico de difusion
- las redes vlan se basan en switches diseñados para este proposito. el administrador decide cuantas vlan habra y como se llamaran
- tablas de configuracion en los puentes. que vlan se puede acceder por un puerto
- estandar 802.1q
  - se cambio el encabezado de ethernet. tiene una nueva etiqueta vlan
  - los campos de vlan no los deben ver los usuarios, solo puentes y conmutadores
  - cuando una trama llega al primer switch con soporte para vlan agrega los campos y el ultimo los elimina

## **5 capa de red**

### **5.1 aspecto de diseño**

#### **5.1.1 conmutacion de paquetes de almacenamiento y reenvio**

#### **5.1.2 servicios proporcionados a la capa de transporte**

- independientes de la tecnologia del enrutador
- la capa de transporte debe estar aislada del tipo, cantidad y topologia de enrutadores
- plan de numeracion uniforme para las direcciones disponibles

#### **5.1.3 implementacion del servicio sin conexion**

- los paquetes se transmiten por separado y se enrutan de manera independiente
- datagramas
- ip

#### **5.1.4 implementacion del servicio orientado a la conexion**

- evitar la necesidad de elegir una nueva ruta para cada paquete enviado. cuando se establece una conexion se guarda la ruta
- mpls: usa vez que se establece el circuito virtual los enrutadores intermedios asignan identificadores diferentes para origenes diferentes para diferenciarlos en una misma ruta



## 5.2 algoritmos de enrutamiento

- un enrutador tiene dos procesos internos: uno maneja cada paquete conforme llega y busca en la tabla de ruteo la línea de salida. el otro es llenar y actualizar las tablas de ruteo, y ahí es donde entra el algoritmo de ruteo
- muchas redes intentan reducir el número de saltos que debe dar un paquete
- no adaptativos: no basan sus decisiones en mediciones de tráfico y topología actuales. las rutas se eligen de antemano. enrutamiento estático
- adaptativos: no no adaptativos. enrutamiento dinámico

### 5.2.1 principio de optimización

- si una ruta es óptima para  $i \rightarrow j \rightarrow k$ , también es óptima para  $j \rightarrow k$
- árbol sumidero: el conjunto de rutas óptimas

### 5.2.2 algoritmo de la ruta más corta

- ver la red como un grafo y buscar el camino más corto
- corto puede ser el número de saltos, distancia geográfica, u otras métricas

### 5.2.3 inundación

- técnica local. el enrutador envía por todas las líneas excepto por la que vino el paquete
- gran cantidad de duplicados
- número máximo de saltos en la cabecera
- número de secuencia en paquetes para no enviarlos dos veces
- no es práctico para la mayoría de envíos. pero tienen usos importantes como la difusión, porque asegura que todas las estaciones reciban el paquete
- es en extremo robusta
- requiere poca configuración
- siempre encuentra la ruta más corta, sin contar el congestionamiento que provoca el algoritmo

### 5.2.4 enrutamiento por vector de distancia

- cada enrutador mantiene un vector (una tabla) con la mejor ruta para cada destino. esta tabla se va actualizando
- cada T ms cada enrutador manda a sus vecinos su tabla
- problema del conteo al infinito: la convergencia llega a la respuesta correcta, pero lo hace lentamente

### 5.2.5 enrutamiento por estados de enlace

- las variantes is-is y ospf son usadas en la actualidad en internet
- descubrir a sus vecinos
  - cuando un enrutador se pone en funcionamiento envia paquetes por todas las lineas que son respondidos con informacion de los vecinos

## 5.3 ipv4

- conmutacion de paquetes
- servicio sin conexion

### 5.3.1 objetivos

- funcion de ruteo
- transparencia en la red de redes
- reglas de entrega de paquetes no confiable
- unidad basica: datagrama

### 5.3.2 clases de direcciones

- a: r.h.h.h. 1.0.0.0 a 126.0.0.0
- b: r.r.h.h. 128.0.0.0 a 191.255.0.0
- c: r.r.r.h. 192.0.0.0 a 223.255.255.0
- d: multicast address. 224.0.0.0 a 239.255.255.255
- e: reservado. 240.0.0.0 a 255.255.255.255
- el primer octeto se da por el corrimiento del ultimo 1 de izquierda a derecha (0, 10, 110, 1110, 11110)

### 5.3.3 packet switching

- el paquete se divide en el origen en unidades manejables: datagramas
- los datagramas viajan al destino
- se ensamblan en el destino para lograr el mensaje original
- los paquetes se dividen segun los requisitos de cada punto intermedio (cada router)

#### 5.3.4 ruteo

- proceso de seleccion del camino de un paquete
- entrega directa: transmision entre hosts de una misma red ip. no necesita del router. se encapsula el datagrama en una trama y se envia directamente
- entrega indirecta: los hosts se encuentran en redes separadas. se envia el datagrama a un ruteador de su red ip encapsulandolo en una trama
- se compara el netid del transmisor con el de destino. si son iguales es entrega directa
- sino usan las tablas de ruteo que indican por cada posible ip el siguiente salto que debe tomar en la ruta hasta el destino
- las tablas tambien se usan para entrega directa

#### 5.3.5 direcciones privadas

- las ipv4 no alcanzan para todos los dispositivos del mundo
- cada red interna usa un conjunto de ip privadas que se repiten en cada red que no sale a internet
- por dentro la red se maneja con esas ip privadas, y desde afuera se ve una sola ip

#### 5.3.6 subredes ip

- cuando se usan bits de la parte de host para crear subredes

### 5.4 icmp: internet control message protocol

- ip falla cuando el destino se desconecta de la red, cuando pasa el timeout para la respuesta o cuando router intermediarios estan muy congestionados
- icmp es requerido por ip y debe ser incluido en una implementacion del protocolo
- reporta errores, no corrige. aunque sugiere accioner a tomar

#### 5.4.1 funciones

- error: un nodo que reconoce un error de transmision genera un paquete icmp. este se reporta a la fuente original, que es la que esta en la cabecera del paquete. no puede avisar a los routers intermedios. ni el origen saber que router tuvo el problema
- control: herramientas de diagnostico de la red (ping, traceroute)
- trama { ip { icmp {} } }

### 5.4.2 tipos

- 8/0 ping: solicitud eco/respuesta
- 3 destination unreachable: cuando no puede entregar/direccionar un datagrama
- 4 source quench: congestionamiento
- 5 route change request: usado por el router directamente conectado host fuente para cambio de ruta
- 11 time exceeded
- 13/14: timestamp para sincronizacion, calculo de viaje redondo, etc
- 17/18: solicitud/respuesta de mascara

### 5.5 arp: address resolution protocol

- se usa para obtener direcciones mac, tanto para el ultimo paso (host destino) como para intermedios (routers)
- el pedido es broadcast, la respuesta es unicast
- el transmisor incluye su mac e ip para que los host actualicen
- trama { arp {} }
- dos partes: transforma direcciones ip en direcciones fisicas. responde pedidos de otras maquinas
- se mantiene una tabla con direcciones guardadas, que se actualizan cada cierto tiempo
- por que se usa un broadcast que alcanza al destino para despues enviar un mensaje al mismo destino?: los mensajes broadcast son mas costosos porque cada maquina debe procesar el mensaje