

CC51C Comunicación de Datos 10 UD

1 Introducción

El modelo ISO-OSI define 7 capas, formando un stack o pila. Cada capa puede interactuar solamente con la que está inmediatamente encima o debajo de ella. Cada capa se preocupa de una parte específica de la comunicación, y “habla” con la misma capa en un host remoto.

Sin embargo, en este curso vamos a estudiar un modelo más parecido a TCP/IP, que es lo más usado en le mundo real. En la figura 1 se puede ver una comparación de ambos modelos en cuanto a las capas que implementan.

1. física
2. datos
3. red
4. transporte
5. sesión
6. presentación
7. aplicación

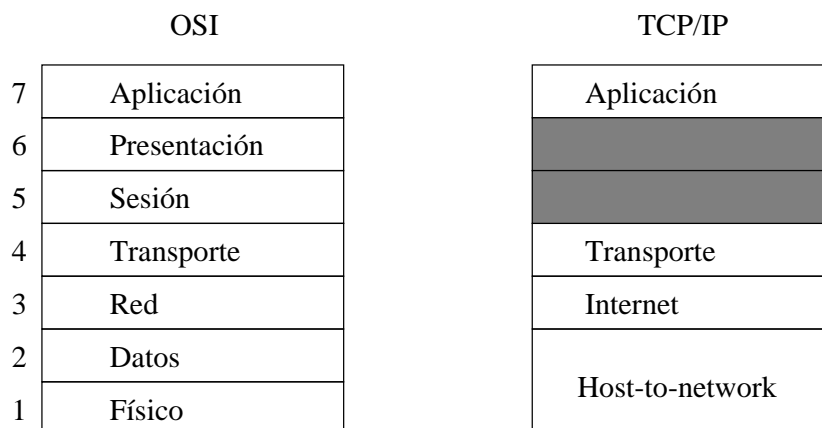


Figura 1: Modelo ISO-OSI

2 Capa Física

2.1 Base Teórica

- La forma de transmitir información por un medio es hacer variar alguna propiedad física (medible) en el mismo.
- Es propio del medio la cantidad de veces por segundo que se puede cambiar de estado alguna propiedad física en particular. Esta frecuencia máxima se mide en *baud*. $bps = baud * \log_2(\text{cant. de estados})$
- Límites teóricos y teorema del muestreo

Una onda de frecuencia máxima H puede ser caracterizada por $2H$ muestras. Cada una de estas muestras debe tener al menos $\log_2 V$ bits de información, donde V es la cantidad de niveles discretos (estados posibles) considerados en la onda.

De la misma forma, es posible convertir una cantidad de números de $\log_2 V$ bits de información en una onda de frecuencia máxima $2H$. Si consideramos que el medio es libre de ruido, la transferencia máxima es :

$$\text{maximum data rate} = 2H \log_2 V \frac{\text{bits}}{\text{sec}} \quad (1)$$

- Relación Señal-Ruido: Al usar ondas para transmitir información, en la práctica existen factores que modifican la onda que se emitió (o más bien que debió haberse emitido). Así, la onda que se recibe y a partir de la cual se debe reconstruir la información es distinta de la que debió haberse recibido. La razón de esta distorsión se debe tanto a la interferencia externa que recibe el medio, como a que el medio tiene resistencias distintas dependiendo de la frecuencia de la onda.

Llamamos Señal (S) a intensidad de la onda que debió haberse emitido, y ruido (N) a la componente que se superpone a esta onda para formar finalmente la onda que se recibe. La relación Señal-Ruido es $\frac{S}{N}$.

Shannon determinó que la transferencia máxima en un canal con ruido Gaussiano (ver definición de relación señal-ruido más adelante) es la siguiente:

$$\text{maximum data rate} = H \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad (2)$$

Esta serie crea un puente entre una onda análoga continua y una serie (inherentemente discreta) de números reales.

- Fourier: *Jean-Baptiste Fourier* probó en el siglo XIX que una función "razonablemente" periódica, $g(t)$ de período T puede ser construida superponiendo una (posiblemente infinita) cantidad de ondas sinusoidales. La

serie de Fourier es la siguiente:

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft) \quad (3)$$

donde $f = \frac{1}{T}$ es la frecuencia, y a_n y b_n son las amplitudes de los enésimos armónicos (componentes). En la figura 2 se puede ver la calidad de la onda en función de la cantidad de armónicos que se incluyen.

Es importante notar que dicha transferencia es independiente de la cantidad de niveles que se consideren en la onda.

2.2 Medios

- medios magnéticos
- cable de cobre (coaxial)
- cable de cobre (par trenzado)
- fibra óptica: la fibra Multimodo permite enviar múltiples rayos de luz a través de la misma fibra, usando distintos ángulos de refracción. La fibra monomodo permite enviar una sola señal de luz.

La fibra óptica es muy poco sensible a ruido externo.

Las frecuencias que usan van desde los 10^{14} hasta los 10^{15} Hz (10^8 a 10^9 MHz). Si se divide el ancho de banda total en canales de 1 MHz, se tiene un potencial de aprox. $9 * 10^8$ canales de 1 Mbps (o sea aproximadamente 9.000 Gbps) suponiendo que podemos transmitir 1 Mbps en un canal de 1 MHz, o sea 1 bit por ciclo. Pero estamos recién empezando a usar la multiplexión por frecuencia de esta manera.

- transmisiones inalámbricos: Se pueden tener transmisiones directas entre antenas visibles (infrarojos, laser, UHF, microondas) o bien usar satélites para que "reboten" la señal. Un satélite geoestacionario está ubicado a 36.000 km sobre el ecuador y puede tener varios transponders de unos 500 Mbps (hay más rápidos). El problema con los satélites es que para que un paquete vaya de ida y vuelta, tiene que subir y bajar 2 veces, recorriendo en total al menos $4 * 39000 = 156.000 km$ (ver figura 4). A la velocidad de la luz, eso toma más de 520 ms. Esto tiene consecuencias notables sobre la comunicación interactiva (por ejemplo telefónica).

2.3 Técnicas de Interconexión

Como es imposible en la práctica interconectar todos los nodos con conexiones físicas punto a punto, es necesario usar alguna técnica para compartir troncales comunes.

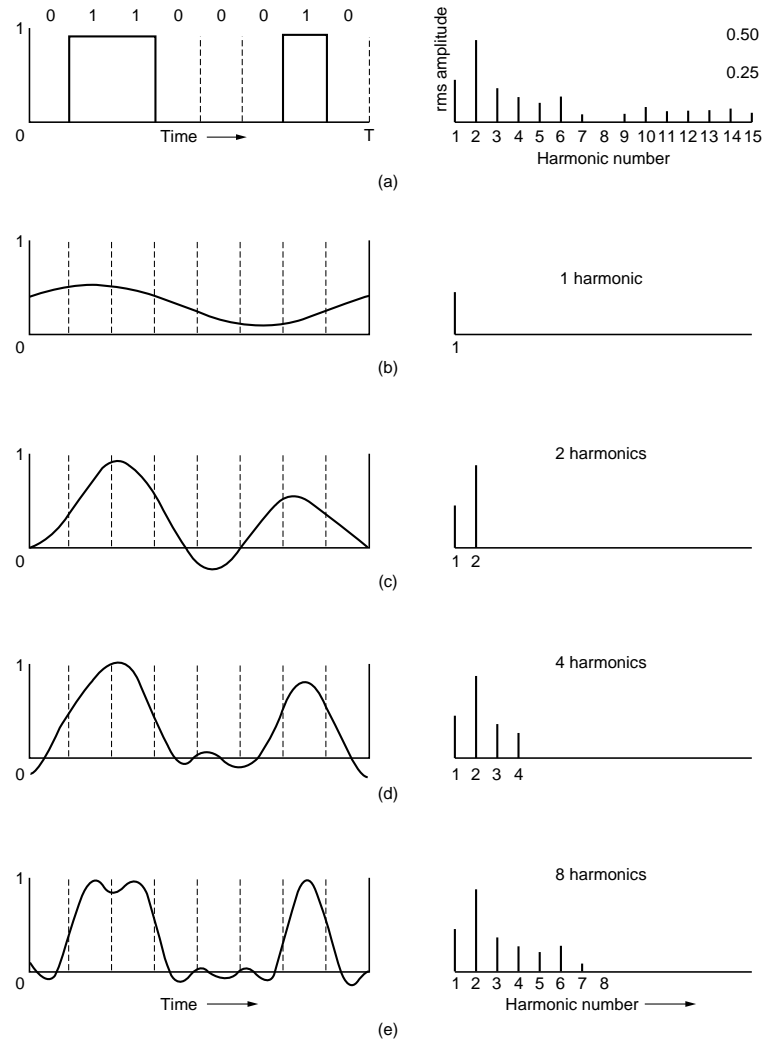


Fig. 2-1. (a) A binary signal and its root-mean-square Fourier amplitudes. (b)-(e) Successive approximations to the original signal.

From: *Computer Networks*, 3rd ed. by Andrew S. Tanenbaum, © 1996 Prentice Hall

Figura 2: Señal ideal y aproximaciones usando distinta cantidad de armónicos

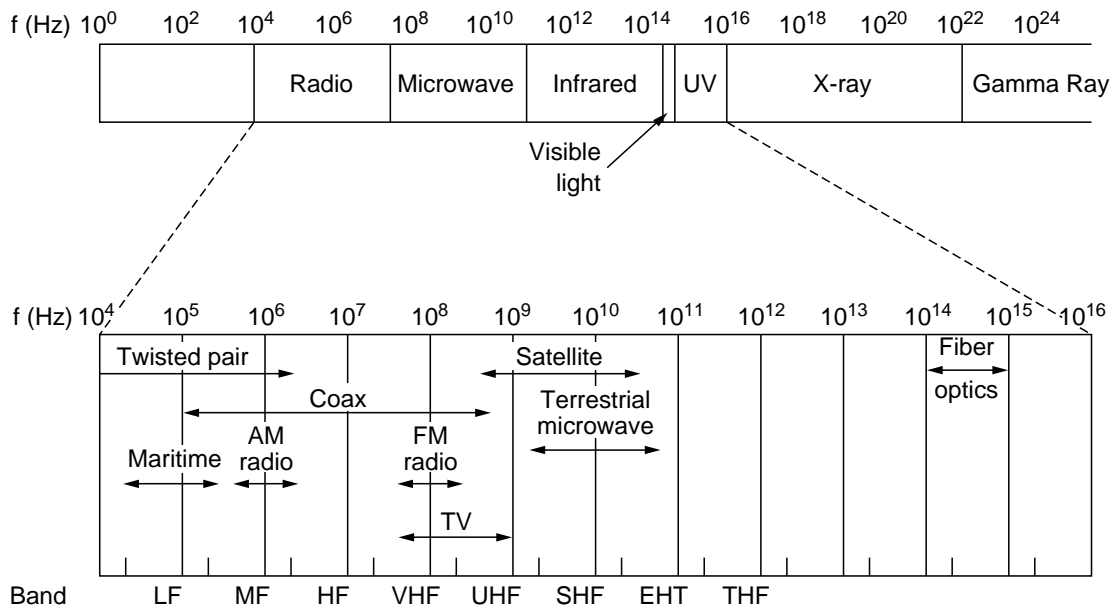


Fig. 2-11. The electromagnetic spectrum and its uses for communication.

From: *Computer Networks*, 3rd ed. by Andrew S. Tanenbaum, © 1996 Prentice Hall

Figura 3: El espectro electromagnético y sus usos en comunicación

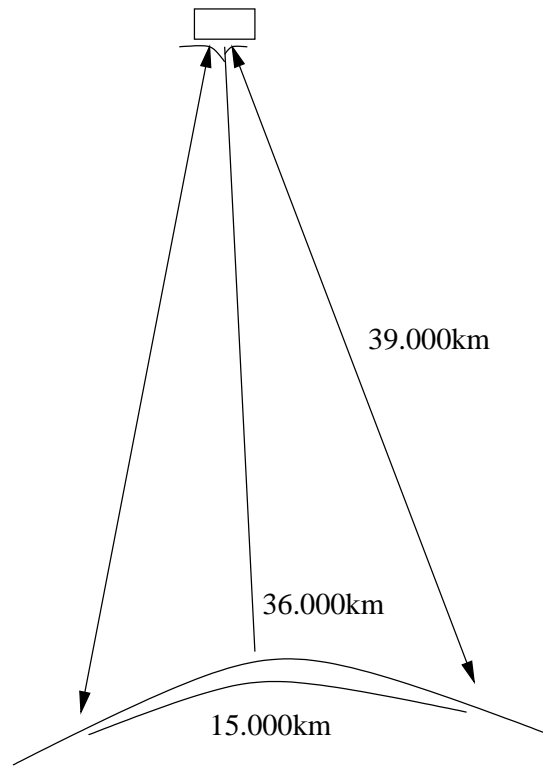


Figura 4: Distancia de un satélite geoestacionario

2.3.1 Multiplexión

- Multiplexión por frecuencia: se divide el ancho de banda disponible en rangos de frecuencias. Cada canal ocupa un rango de frecuencias en forma exclusiva.
Ej: TV Cable, Radio, Satélites.
- Multiplexión en tiempo: cada conexión usa el canal completo, por una ventana (slot) de tiempo definida. Ej: ATM.

También se pueden mezclar las dos técnicas de multiplexión, por ejemplo multiplexando en frecuencia y luego en el tiempo.

Desventajas de ambas técnicas: reservan ancho de banda aunque no se use.

2.3.2 Conmutación

Al usar troncales por donde pasan múltiples conexiones, es necesario manejar algún concepto de conexión virtual punto a punto.

- Conmutación de circuitos Sistema telefónico. Se reservan los recursos entre ambos puntos. Si no hay recursos, no se realiza la conexión. Originalmente, estas conexiones eran físicas, con switches que se iban cerrando entre las centrales. Hoy en día se reserva un canal lógico.

Desventaja: se desperdician recursos (es igual de caro transmitir silencio que una conversación).

Ventaja: una vez establecida la conexión, esta se mantiene sin perder calidad ni cortarse.

- Conmutación de paquetes: Cada paquete es ruteado en forma independiente al resto (no existe concepto de conexión) Aprovecha bien el ancho de banda, pero puede verse afectado por congestión durante el transcurso de la conexión. Retardos variables, desorden de paquetes.

En este caso se usa una multiplexión en el tiempo, pero sin slots pre-assignados.

No es necesario hacer reserva de recursos, y se aprovecha en forma óptima el ancho de banda global disponible.

2.4 Acceso al Medio

Es necesario definir la forma en que los nodos van a acceder el medio, para evitar pérdidas de información, interferencias, etc.

En un esquema punto a punto full-duplex es trivial, salvo que se tenga que considerar control de flujo (cosa que no haremos en esta capa). Pero ya al existir un canal half-duplex las cosas se complican. Puede darse el caso de que ambos nodos transmitan a la vez y por el mismo tiempo, en cuyo caso ninguno de los dos nota que el otro no está recibiendo lo que se transmitió. Es necesario compartir el medio en forma organizada. Un caso general es un medio

al cual están conectados múltiples nodos, y la comunicación se hace en forma de broadcast (uno habla, todos escuchan).

- ALOHA: cuando hay que transmitir se transmite. Si hay más de un nodo transmitiendo, se produce una colisión que destruye los paquetes involucrados. Los nodos deberán detectar esta situación (escuchando el canal) y reemitir los paquetes que se perdieron.

Esperar un tiempo aleatorio antes de transmitir.

Factor máximo de utilización: 18%.

- Slotted ALOHA: solamente se permite transmitir en ventanas de tiempo predefinidas. Factor máximo de utilización: 36.8%

- CSMA (Carrier Sense Multiple Access): igual a ALOHA, pero se mira el medio antes de transmitir. Si hay alguien transmitiendo, se espera que termine para comenzar. CSMA 1-persistente es la versión standard: si hay una colisión, se vuelve a transmitir en un tiempo aleatorio. CSMA p-persistente: se transmite con probabilidad p en el siguiente slot ($p < 1$).

Para evitar las colisiones cuando múltiples nodos comiencen a transmitir apenas se desocupe el canal, se puede agregar un tiempo aleatorio entre-medio. Esto es lo que hace CSMA no persistente, que espera un tiempo aleatorio cuando el canal está ocupado, sin fijarse en si hay colisión para volver a revisar si el canal está ocupado y transmitir si corresponde. Tiene mayor latencia pero mejor utilización del ancho de banda.

- CD (Collision Detection): se puede detectar una colisión casi instantáneamente y anular el paquete en vez de esperar a que se termine de transmitir. Es necesario esperar 2τ unidades de tiempo, donde τ es el tiempo de propagación de la señal en el cable (en toda su longitud).

- Celulares: GSM (Global System for Mobile Communication), CDMA (Code Division Multiple Access), DSMA (Digital Sense Multiple Access)...

- IEEE 802.3 (Ethernet (casi))

Usa CSMA/CD 1-persistente. Con tasas de transferencia de 10 y 100 Mbps. También existe el Gigabit-Ethernet.

Para que los datos que se desean enviar puedan ser puestos en la red, es necesario codificarlos y encapsularlos. El encapsulamiento (Framing) es típicamente tarea del MAC (Medium Access Control sublayer). Los Frames tienen la forma de la figura.

El preámbulo es usado para sincronizar los relojes (es slotted). Para poder detectar las colisiones, se necesita que el largo de cualquier frame sea de al menos 64 bytes. En caso de que eso no se cumpla, se usa el "Pad".

Las direcciones son de 48 bits, diseñados para que la probabilidad de que dos direcciones elegidas al azar se encuentren en la misma red sean cercanas a 0. Sin embargo, se asignan centralizadamente.

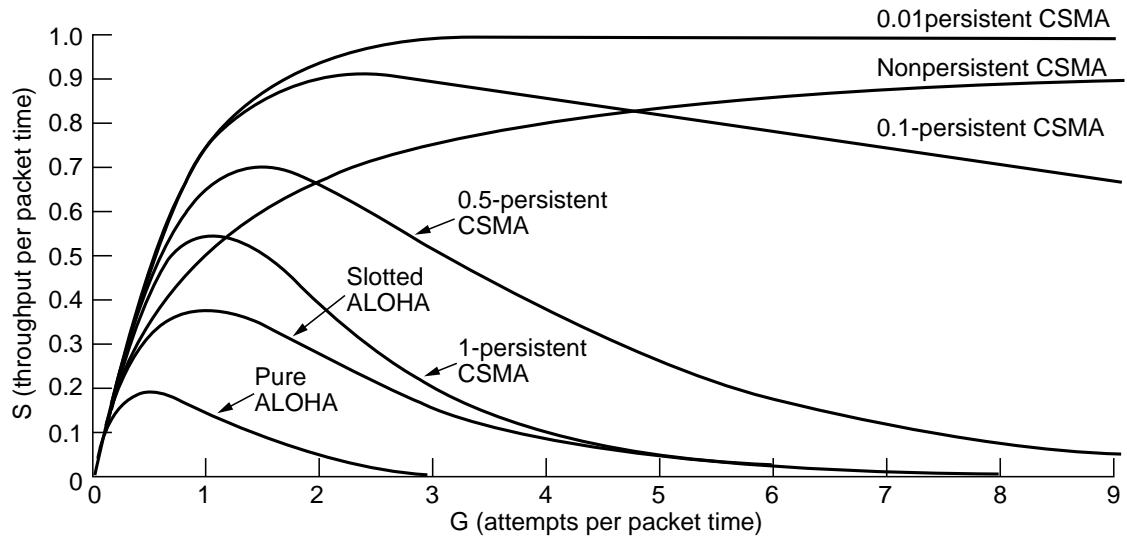


Fig. 4-4. Comparison of the channel utilization versus load for various random access protocols.

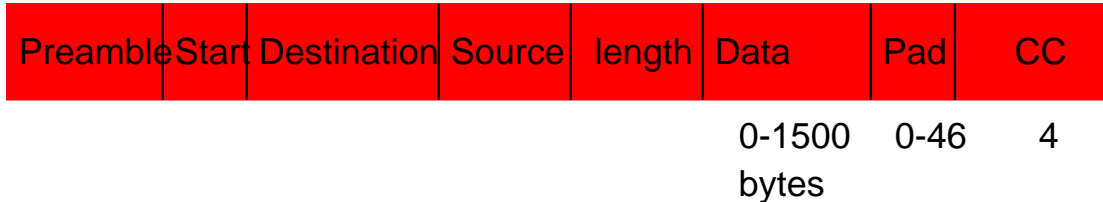


Figura 6: Paquete Ethernet

Usa **binary exponential backoff** para evitar el aumento exponencial de colisiones: para la i -ésima retransmisión se transmite equiprobablemente en los siguientes $0 \dots 2^i - 1$ slots. Después de 10 colisiones, no se aumenta la cantidad de slots a esperar y ésta queda en 1024. Después de 16 intentos fallidos, se elimina el paquete. Rendimiento: en teoría 80 %, en la práctica 50 %.

Name	Cable	length	Nodes	Advantage
10Base5	Thick coax	500m	100	Good for backbones
10Base2	Thin coax	200m	30	Cheapest system
10Base-T	Twisted pair	100m	1024	Easy maintenance
10Base-F	Fiber optics	2000m	1024	Best between buildings
100Base-T4	Twisted pair	100m	-	Uses category 3 UTP (4 pairs)
100Base-TX	Twisted pair	100m	-	Full duplex at 100Mbps
100Base-FX	Fiber optics	2000m	-	Full duplex at 100Mbps, long runs

(Base == Baseband Signalling)

- IEEE 802.5: Token Ring

Solamente puede transmitir el que posee la ficha (Token). Este token es un paquete especial, que circula por la red cuando está libre. Cuando una estación transmite, debe esperar a recibir su propio paquete después de una vuelta completa, lo descarta de la red y luego escribe el token nuevamente. Ej: FDDI (Fiber Distributed Data Interface). En FDDI, el anillo incluso puede soportar fallas de un nodo.

2.5 Interconexión de redes físicas

Cada red física tiene sus propias características y restricciones.

- Repeaters: permiten unir dos redes físicas separadas. Con esto, se aumenta la distancia y las redes forman dos segmentos de una nueva red que abarca todos los nodos. Por lo general, hay restricciones sobre la cantidad de repetidores permitidos.

- Bridges: son como los repetidores pero inteligentes. "Aprenden" sobre la topología. Si interconectamos dos redes, una máquina que envía un paquete a otra de la misma red, no necesita ser retransmitido a la otra. Pueden ofrecer redundancia (generar ciclos en la red) y permitir recuperarse de una falla. También permiten interconectar redes físicas de distinto tipo, tomando en consideración restricciones de largo de paquetes, direccionamiento, etc. Operan en el nivel Data Link del stack.
- Switches: un bridge sofisticado, que puede evitar colisiones al almacenar paquetes en memoria. No genera colisiones entre puertos, por lo que se usa para separar "dominios de colisiones". Como son caros, generalmente están al centro de la red, separando HUBs con sus subredes.
- VLANs: Se puede usar un switch para simular dos redes físicas independientes.

2.6 Topologías

- linear
- spine
- tree
- segmented

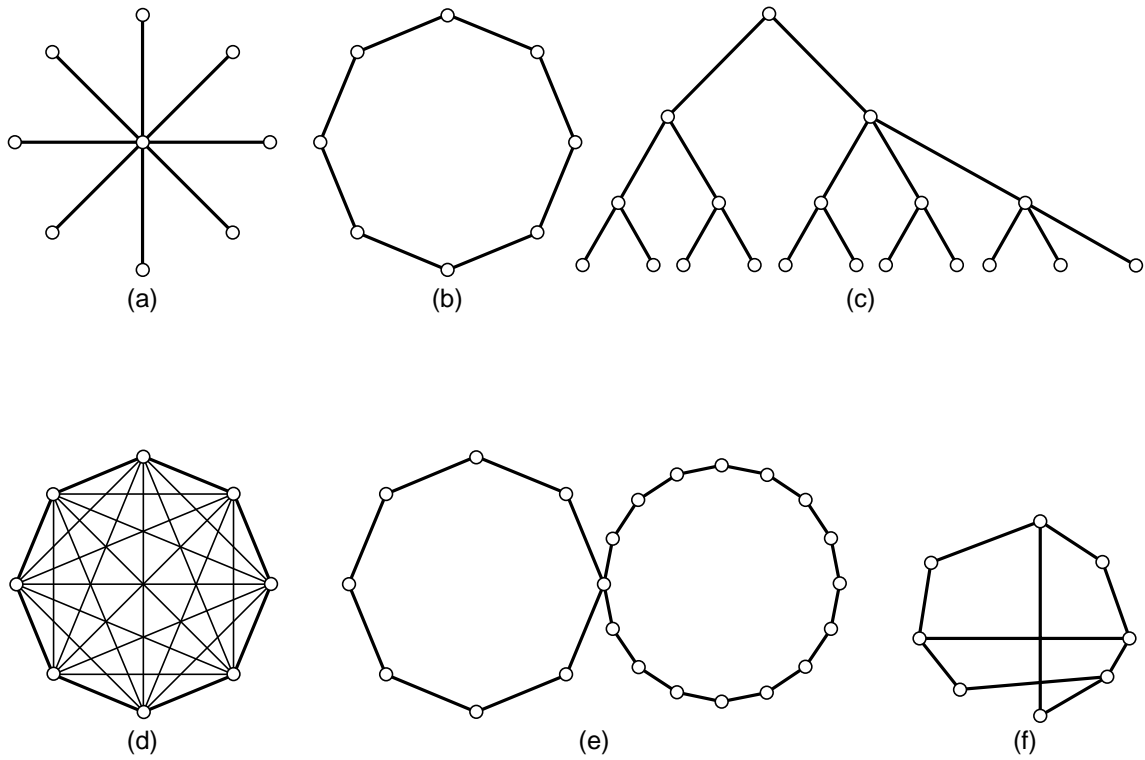


Fig. 1-6. Some possible topologies for a point-to-point subnet. (a) Star. (b) Ring. (c) Tree. (d) Complete. (e) Intersecting rings. (f) Irregular.