

# COMUNICACIONES Y REDES DE COMPUTADORES

por STALLINGS  
Isbn 8420541109

## Indice del Contenido

Prólogo

Capítulo 0. Guía del lector

0.1. Resumen del texto

0.2. Internet y recursos web

Sitios web relacionados con el texto

Otros sitios web

Grupos de noticias de USENET

0.3. Estándares

PARTE I

Descripción general

Capítulo 1. Introducción a las comunicaciones de datos y redes

1.1. Un modelo para las comunicaciones

1.2. Comunicaciones de datos

1.3. Redes de transmisión de datos

Redes de área amplia

Redes de área local

Redes inalámbricas

Redes de área metropolitana

1.4. Un ejemplo de configuración

Capítulo 2. Arquitectura de protocolos

2.1. ¿Por qué es necesaria una arquitectura de protocolos?

2.2. Una arquitectura de protocolos simple

Un modelo de tres capas

Arquitecturas de protocolos normalizadas

2.3. OSI

El modelo

Normalización dentro del modelo de referencia OSI

Parámetros y primitivas de servicio

Las capas de OSI

2.4. La arquitectura de protocolos TCP/IP

Las capas de TCP/IP

TCP y UDP

Funcionamiento de TCP e IP

Aplicaciones TCP/IP

Interfaces de protocolo

2.5. Lecturas recomendadas y sitios web

Sitios web recomendados

2.6. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios

Términos clave

Cuestiones de repaso

Ejercicios

Apéndice 2A. El protocolo TFTP (Trivial File Transfer Protocol)

Introducción a TFTP

Paquetes TFTP

Ejemplo de transferencia

Errores y retardos  
Sintaxis, semántica y temporización

## PARTE II

Comunicaciones de datos

### Capítulo 3. Transmisión de datos

#### 3.1. Conceptos y terminología

Terminología utilizada en transmisión de datos

Frecuencia, espectro y ancho de banda

#### 3.2. Transmisión de datos analógicos y digitales

Datos analógicos y digitales

Señales analógicas y digitales

Transmisión analógica y digital

#### 3.3. Dificultades en la transmisión

Atenuación

Distorsión de retardo

Ruido

#### 3.4. Capacidad del canal

Ancho de banda de Nyquist

Fórmula para la capacidad de Shannon

El cociente  $E_b/M_0$

#### 3.5. Lecturas recomendadas

#### 3.6. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios

Términos clave

Cuestiones de repaso

Ejercicios

Apéndice 3A. Decibelios y energía de la señal

### Capítulo 4. Medios de transmisión

#### 4.1. Medios de transmisión guiados

Par trenzado

Cable coaxial

Fibra óptica

#### 4.2. Transmisión inalámbrica

Antenas

Microondas terrestres

Microondas por satélite

Ondas de radio

Infrarrojos

#### 4.3. Propagación inalámbrica

Propagación superficial de ondas

Propagación aérea de ondas

Propagación en la trayectoria visual

#### 4.4. Transmisión en la trayectoria visual

Pérdida en el espacio libre

Absorción atmosférica

Multitrayectorias

Refracción

#### 4.5. Lecturas recomendadas y sitios web

#### 4.6. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios

Términos clave

Cuestiones de repaso

Ejercicios

### Capítulo 5. Técnicas para la codificación de señales

#### 5.1. Datos digitales, señales digitales

No retorno a cero  
Binario multinivel  
Bifase  
Velocidad de modulación  
Técnicas de aleatorización  
5.2. Datos digitales, señales analógicas  
Modulación por desplazamiento de amplitud  
Modulación por desplazamiento de frecuencia  
Modulación por desplazamiento de fase  
Prestaciones  
Modulación de amplitud en cuadratura  
5.3. Datos analógicos, señales digitales  
Modulación por impulsos codificados  
Modulación delta  
Prestaciones  
5.4. Datos analógicos, señales analógicas  
Modulación de amplitud  
Modulación angular  
5.5. Lecturas recomendadas  
5.6. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios  
Términos clave  
Cuestiones de repaso  
Ejercicios

## Capítulo 6. Técnicas de comunicación de datos digitales

6.1. Transmisión asíncrona y síncrona  
Transmisión asíncrona  
Transmisión síncrona  
6.2. Tipos de errores  
6.3. Detección de errores  
Comprobación de paridad  
Comprobación de redundancia cíclica (CRC)  
6.4. Corrección de errores  
Principios generales de los códigos de bloque  
6.5. Configuraciones de línea  
Topología  
Full-duplex y Half-duplex  
6.6. Interfaces  
V.24/EIA-232-F  
La interfaz física de RDSI  
6.7. Lecturas recomendadas  
6.8. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios  
Cuestiones de repaso  
Ejercicios

## Capítulo 7. Protocolos de control del enlace de datos

7.1. Control de flujo  
Control de flujo mediante parada y espera  
Control de flujo mediante ventana deslizante  
7.2. Control de errores  
ARQ con parada y espera  
ARQ con vuelta atrás N  
ARQ con rechazo selectivo  
7.3. Control del enlace de datos de alto nivel (HDLC)  
Características básicas  
Estructura de trama  
Funcionamiento

7.4. Lecturas recomendadas  
7.5. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios  
Términos clave  
Cuestiones de repaso  
Ejercicios  
Apéndice 7A. Análisis de prestaciones  
Control del flujo mediante parada y espera  
Control del flujo sin errores mediante ventana deslizante  
ARQ

## Capítulo 8. Multiplexación

8.1. Multiplexación por división en frecuencias

Características

Sistemas de portadora analógica

Multiplexación por división en la longitud de onda

8.2. Multiplexación por división en el tiempo síncrona

Características

Control del enlace en TDM

Sistemas de portadora digital

SONET/SDH

8.3. Multiplexación por división en el tiempo estadística

Características

Prestaciones

Cable-módem

8.4. Línea de abonado digital asimétrica

Diseño ADSL

Multitono discreto

8.5. xDSL

Línea de abonado digital de alta velocidad (HDSL)

Línea de abonado digital de una sola línea (SDSL)

Línea de abonado digital de muy alta velocidad (VDSL)

8.6. Lecturas y sitios web recomendados

8.7. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios

Términos clave

Cuestiones de repaso

Ejercicios

## Capítulo 9. Espectro expandido

9.1. El concepto de espectro expandido

9.2. Espectro expandido por salto de frecuencias

Esquema básico

FHSS usando MFSK

Análisis de prestaciones de FHSS

9.3. Espectro expandido de secuencia directa

DSSS usando BPSK

Análisis de prestaciones de DSSS

9.4. Acceso múltiple por división de código

Principios básicos

CDMA para espectro expandido de secuencia directa

9.5. Lecturas recomendadas

9.6. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios

Términos clave

Cuestiones de repaso

Ejercicios

## PARTE III

Redes de área amplia

## Capítulo 10. Conmutación de circuitos y de paquetes

### 10.1. Redes conmutadas

### 10.2. Redes de conmutación de circuitos

### 10.3. Conceptos de conmutación de circuitos

Conmutación por división en el espacio

Conmutación por división en el tiempo

### 10.4. Señalización de control

Funciones de señalización

Localización de la señalización

Señalización por canal común

Sistema de señalización número 7

### 10.5. Arquitectura de conmutación lógica

### 10.6. Principios de conmutación de paquetes

Técnica de conmutación

Tamaño de paquete

Comparación de las técnicas de conmutación de circuitos y de paquetes

### 10.7. X.25

### 10.8. Retransmisión de tramas

Fundamentos

Arquitectura de protocolos en retransmisión de tramas

Transferencia de datos de usuario

### 10.9. Lecturas y sitios web recomendados

### 10.10. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios

Términos clave

Cuestiones de repaso

Ejercicios

## Capítulo 11. Modo de transferencia asíncrono

### 11.1. Arquitectura de protocolos

### 11.2. Conexiones lógicas ATM

Uso de conexiones de canal virtual

Características camino virtual/canal virtual

Señalización de control

### 11.3. Celdas ATM

Formato de cabecera

Control de flujo genérico

Control de errores de cabecera

### 11.4. Transmisión de celdas ATM

Capa física basada en celdas

Capa física basada en SDH

### 11.5. Clases de servicios ATM

Servicios en tiempo real

Servicios en no tiempo real

### 11.6. Capa de adaptación ATM

Servicios AAL

Protocolos AAL

### 11.7. Lecturas y sitios web recomendados

### 11.8. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios

Términos clave

Cuestiones de repaso

Ejercicios

## Capítulo 12. Encaminamiento en redes conmutadas

### 12.1. Encaminamiento en redes de conmutación de circuitos

### 12.2. Encaminamiento en redes de conmutación de paquetes

Características

Estrategias de encaminamiento

Ejemplos

12.3. Algoritmos de mínimo coste

Algoritmo de Dijkstra

Algoritmo de Bellman-Ford

Comparación

12.4. Lecturas recomendadas

12.5. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios

Términos clave

Cuestiones de repaso

Ejercicios

Capítulo 13. Congestión en redes de datos

13.1. Efectos de la congestión

Funcionamiento ideal

Funcionamiento real

13.2. Control de congestión

Contrapresión

Paquetes de obstrucción

Señalización implícita de congestión

Señalización explícita de congestión

13.3. Gestión de tráfico

Imparcialidad

Calidad de servicio

Reservas

13.4. Control de congestión en redes de conmutación de paquetes

13.5. Control de congestión en retransmisión de tramas

Gestión de la tasa de tráfico

Prevención de congestión mediante señalización explícita

13.6. Gestión de tráfico en ATM

Requisitos para el control de tráfico y de congestión en ATM

Efectos de latencia/velocidad

Variación del retardo de celdas

Control de tráfico y de congestión

Técnicas de gestión de tráfico y de control de congestión

13.7. Gestión de tráfico GFR en ATM

Mecanismos de soporte de tasas garantizadas

Definición de adecuación GFR

Mecanismo para la comprobación de elegibilidad de QoS

13.8. Lecturas recomendadas

13.9. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios

Términos clave

Cuestiones de repaso

Ejercicios

Capítulo 14. Redes celulares inalámbricas

14.1. Principios de redes celulares

Organización de una red celular

Funcionamiento de sistemas celulares

Efectos de propagación en radio móvil

Desvanecimiento en entornos móviles

14.2. Primera generación analógica

Asignación espectral

Funcionamiento

Canales de control en AMPS

14.3. CDMA de segunda generación

Sistemas celulares de primera y segunda generación

Acceso múltiple por división de código  
Consideraciones de diseño de CDMA móvil inalámbrico  
IS-95  
Enlace de ida en IS-95  
Enlace de retorno en IS-95  
14.4. Sistemas de tercera generación  
Interfaces alternativas  
Consideraciones de diseño de CDMA  
14.5. Lecturas y sitios web recomendados  
14.6. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios  
Términos clave  
Cuestiones de repaso  
Ejercicios

#### PARTE IV

Redes de área local

Capítulo 15. Visión general de las redes de área local

15.1. Aplicaciones de las redes LAN  
Redes LAN de computadores personales  
Redes de respaldo y almacenamiento  
Redes ofimáticas de alta velocidad  
Redes LAN troncales  
15.2. Topologías y medios de transmisión  
Topologías  
Elección de la topología  
Elección del medio de transmisión  
15.3. Arquitectura de protocolos de redes LAN  
Modelo de referencia IEEE 802  
Control del enlace lógico  
Control de acceso al medio  
15.4. Puentes  
Funciones de los puentes  
Arquitectura de protocolos de los puentes  
Encaminamiento estático  
Técnica del árbol de expansión  
15.5. Conmutadores de la capa 2 y la capa 3  
Concentradores  
Conmutadores de la capa 2  
Conmutadores de la capa 3  
15.6. Lecturas y sitios web recomendados  
15.7. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios  
Términos clave  
Cuestiones de repaso  
Ejercicios

Capítulo 16. Redes LAN de alta velocidad

16.1. Surgimiento de las redes LAN de alta velocidad  
16.2. Ethernet  
Control de acceso al medio en IEEE 802.3  
Especificaciones IEEE 802.3 10 Mbps (Ethernet)  
Especificaciones IEEE 802.3 100 Mbps (Fast Ethernet)  
Gigabit Ethernet  
Ethernet de 10 Gbps  
16.3. Anillo con paso de testigo  
Funcionamiento del anillo  
Control de acceso al medio

Opciones de medios de transmisión en IEEE 802.5  
16.4. Canal de fibra  
Elementos del canal de fibra  
Arquitectura de protocolos del canal de fibra  
Medios físicos y topologías del canal de fibra  
Perspectivas del canal de fibra  
16.5. Lecturas y sitios web recomendados  
16.6. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios  
Términos clave  
Cuestiones de repaso  
Ejercicios  
Apéndice 16A. Codificación de señales digitales para redes LAN  
4B/5B-NRZI  
MLT-3  
8B6T  
813/10B  
Apéndice 16B. Análisis de prestaciones  
Efecto del retardo de propagación y la velocidad de transmisión  
Modelos sencillos de eficiencia para las técnicas de paso de testigo y  
CSMA/CD

Capítulo 17. Redes LAN inalámbricas  
17.1. Visión general  
Aplicaciones de las redes LAN inalámbricas  
Requisitos de las redes LAN inalámbricas  
17.2. Tecnología LAN inalámbrica  
Redes LAN de infrarrojos  
Redes LAN de espectro expandido  
Redes LAN de microondas de banda estrecha  
17.3. Arquitectura y servicios de IEEE 802.11  
Arquitectura de IEEE 802.11  
Servicios de IEEE 802.11  
17.4. Control de acceso al medio en IEEE 802.11  
Entrega fiable de datos  
Control de acceso  
Trama MAC  
17.5. Capa física de IEEE 802.11  
Capa física original de IEEE 802.11  
IEEE 802.11a  
IEEE 802.11b  
IEEE 802.11g  
17.6. Lecturas y sitios web recomendados  
17.7. Términos clave y cuestiones de repaso  
Términos clave  
Cuestiones de repaso

PARTE V  
Protocolos de interconexión

Capítulo 18. Protocolos de interconexión de redes  
18.1. Funciones básicas de los protocolos  
Encapsulamiento  
Fragmentación y reensamblado  
Control de conexión  
Entrega ordenada  
Control de flujo  
Control de errores

- Direccionamiento
- Multiplexación
- Servicios de transmisión
- 18.2. Principios de la interconexión entre redes
- Requisitos
- Enfoques sobre la arquitectura
- 18.3. Interconexión entre redes sin conexión
- Funcionamiento de un esquema de interconexión no orientado a conexión
- Cuestiones de diseño
- 18.4. El protocolo Internet
- Servicios IP
- Protocolo IP
- Direcciones IP
- Protocolo de mensajes de control de internet (ICMP)
- 18.5. IPv6
- IP de nueva generación
- Estructura IPv6
- Cabecera IPv6
- Direcciones IPv6
- Cabecera de opciones salto a salto
- Cabecera de fragmentación
- Cabecera de encaminamiento
- Cabecera de opciones para el destino
- 18.6. Lecturas y sitios web recomendados
- 18.7. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios
- Términos clave
- Cuestiones de repaso
- Ejercicios

## Capítulo 19. Funcionamiento de la interconexión de redes

- 19.1. Multidifusión
- Requisitos para la multidifusión
- Protocolo de gestión de grupos de Internet
- 19.2. Protocolos de encaminamiento
- Sistemas autónomos
- Estrategias de encaminamiento
- Protocolo de pasarela frontera
- Protocolo del primer camino más corto disponible
- 19.3. Arquitectura de servicios integrados
- Tráfico en Internet
- Enfoque ISA
- Componentes ISA
- Servicios ISA
- Disciplinas de atención de cola
- Protocolo de reserva de recursos
- 19.4. Servicios diferenciados
- Servicios
- Octeto DS
- Configuración y funcionamiento de los DS
- Comportamiento por salto
- 19.5. Lecturas y sitios web recomendados
- 19.6. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios
- Términos clave
- Cuestiones de repaso
- Ejercicios

## Capítulo 20. Protocolos de transporte

- 20.1. Mecanismos de los protocolos de transporte orientados a conexión
  - Servicio de red de entrega ordenada fiable
  - Servicio de red no fiable
- 20.2. TCP
  - Servicios TCP
  - Formato de la cabecera TCP
  - Mecanismos TCP
  - Opciones en los criterios de implementación de TCP
- 20.3. Control de congestión de TCP
  - Gestión de temporizadores de retransmisión
  - Gestión de ventana
- 20.4. UDP
- 20.5. Lecturas recomendadas
- 20.6. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios
  - Términos clave
  - Cuestiones de repaso
  - Ejercicios

## Capítulo 21. Seguridad en redes

- 21.1. Requisitos de seguridad y ataques
  - Ataques pasivos
  - Ataques activos
- 21.2. Privacidad con cifrado simétrico
  - Cifrado simétrico
  - Algoritmos de cifrado
  - Localización de los dispositivos de cifrado
  - Distribución de claves
  - Relleno de tráfico
- 21.3. Autenticación de mensajes y funciones de dispersión («hash»)
  - Alternativas para la autenticación de mensajes
  - Funciones de dispersión seguras
  - La función de dispersión segura SHA-1
- 21.4. Cifrado de clave pública y firmas digitales
  - Cifrado de clave pública
  - Firma digital
  - El algoritmo de cifrado de clave pública RSA
  - Gestión de claves
- 21.5. Capa de sockets segura (SSL) y capa de transporte segura (TLS)
  - Arquitectura SSL
  - Protocolo de registro de SSL
  - Protocolo de cambio de especificación de cifrado
  - Protocolo de alerta
  - Protocolo de negociación bilateral
- 21.6. Seguridad en IPv4 e IPv6
  - Aplicaciones de IPSec
  - Ámbito de IPSee
  - Asociaciones de seguridad
  - Cabecera de autenticación
  - Encapsulado de la carga útil de seguridad
- 21.7. Lecturas y sitios web recomendados
- 21.8. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios
  - Términos clave
  - Cuestiones de repaso
  - Ejercicios

## Capítulo 22. Aplicaciones distribuidas

- 22.1. Correo electrónico-SMTP y MIME

Protocolo simple de transferencia de correo (SMTP)  
Extensiones multipropósito de correo electrónico (MIME)  
22.2. Protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP)  
Descripción general de HTTP  
Mensajes  
Mensajes de solicitud  
Mensajes de respuesta  
Entidades  
22.3. Gestión de red-SNMP  
Sistemas de gestión de red  
Protocolo simple de gestión de red, versión 1 (SNMPv1)  
Protocolo simple de gestión de red, versión 2 (SNMPv2)  
Protocolo simple de gestión de red, versión 3 (SNMPv3)  
22.4. Lecturas y sitios web recomendados  
22.5. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios  
Términos clave  
Cuestiones de repaso  
Ejercicios

Apéndice A. RFC citados en este libro

Apéndice B. Análisis de Fourier

B.1. Desarrollo en serie de Fourier para señales periódicas  
B.2. Transformada de Fourier para señales no periódicas  
Densidad de potencia espectral y ancho de banda  
B.3. Lecturas recomendadas

Apéndice C. Programación de sockets

Apéndice D. Proyectos para la enseñanza de comunicaciones de datos y redes de computadores

D.1. Proyectos de simulación  
D.2. Modelado de rendimiento  
D.3. Proyectos de investigación  
D.4. Trabajos de lecturas y elaboración de informes

Glosario

Bibliografía

Índice alfabético