

# UNIVERSIDADE ESTÁCIO DE SÁ

CURSO DE REDES DE COMPUTADORES  
PROFESSOR MARCELO BERRÊDO  
NOTAS DE AULA – PADRÃO IEEE 802.11

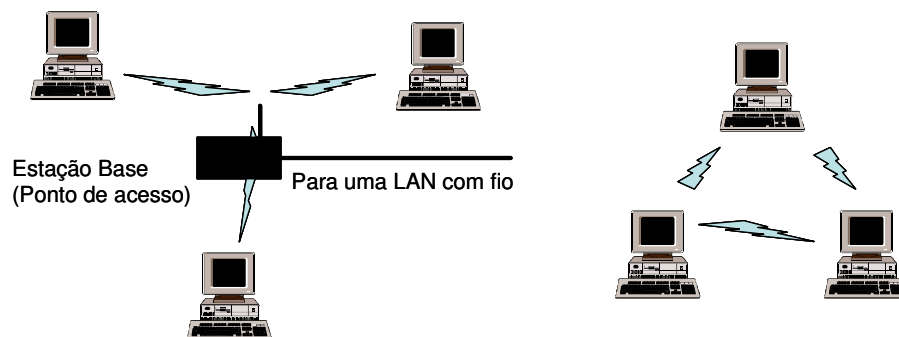
REVISÃO ABRIL/2004

## IEEE 802.11 – WIRELESS LAN

### 1. INTRODUÇÃO

O Grupo de trabalho IEEE 802.11 propõe-se a estabelecer os padrões para redes locais sem fio. O trabalho tem como premissa o funcionamento em dois modos:

- Na presença de uma estação-base (com **ponto de acesso**)
- Na ausência de uma estação-base (*ad hoc*)



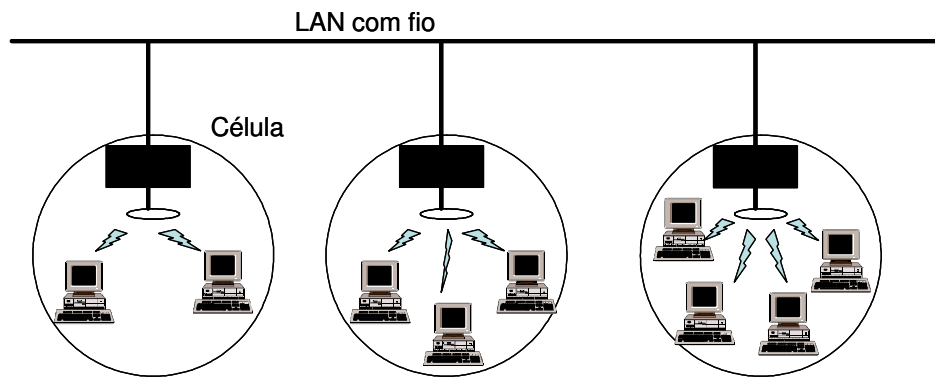
**Figura 1 – Modos de funcionamento de uma rede IEEE 802.11**

O grupo de trabalho decidiu tornar o padrão 802.11 compatível com o Ethernet acima da camada de enlace de dados. As camadas física e de enlace de dados são, entretanto, bastante diferentes.

Algumas questões são inerentes às rede sem fio, quais sejam:

- O alcance de um único rádio pode não cobrir o sistema inteiro;
- O sinal pode ser recebido várias vezes, ao longo de diversos caminhos (atenuação multiponto);
- Como adequar as configurações do software à mobilidade;
- Como fazer a transferência (*handoff*) na mudança de estações-base.

As redes IEEE 802.11 são baseadas em uma arquitetura celular, cada célula denominada **Basic Service Set (BSS)**. As células podem estar conectadas através de um backbone cabeado, denominado **Distributed System (DS)**. O conjunto de células, AP's e DS são denominados **Extended Service Set (ESS)**.



**Figura 2 – Rede IEEE 802.11 com várias células (ESS)**

Células isoladas são chamadas **Independent Basic Service Set (IBSS)**.

O padrão também prevê uma unidade denominada **Portal**, que é o elemento de ligação entre uma rede IEEE 802.11 e outra rede IEEE 802, sendo, portanto, uma *bridge*. Normalmente o Ponto de Acesso faz esta função.

O serviço permite o *roaming* entre diversas células (BSS) dentro de um ESS sem perder a conexão. Nesta situação há uma evidente redução do desempenho, uma vez que o momentâneo afastamento da estação de uma BSS acarretará na necessidade de retransmissão de quadros, funcionalidade não inerente à camada 802.11.

O padrão IEEE 802.11 original, homologado em 1997, funcionava a 1 Mbps ou 2 Mbps. Já naquela época esta taxa era considerada lenta, e o comitê iniciou o trabalho para padrões mais rápidos. Os três principais padrões para redes sem fio ratificados a partir de 1999 são:

- IEEE 802.11a
  - Taxas de até 54 Mbps
  - Frequência na banda ISM a 5 GHz
- IEEE 802.11b
  - Taxas de até 11 Mbps
  - Frequência na banda ISM a 2.4 GHz
- IEEE 802.11g
  - Taxas de até 54 Mbps
  - Frequências na banda ISM a 2.4 GHz

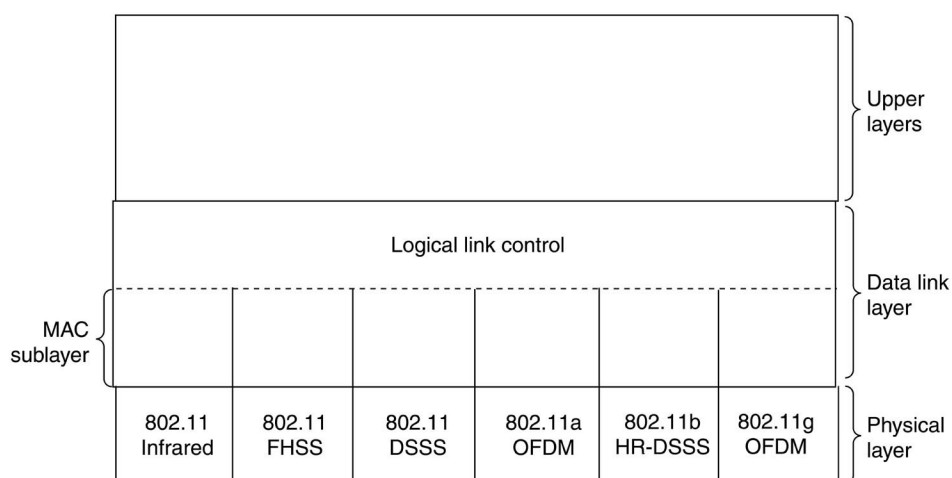
As redes sem fio estão cada vez mais populares, sendo cada vez mais comum seu uso em escritórios, hotéis hospitais, aeroportos e outros lugares públicos.

## 2. A PILHA DE PROTOCOLOS IEEE 802.11

O Padrão IEEE 802.11 de 1997 especifica três técnicas de transmissão permitidas na camada física: Infravermelho, ondas curtas FHSS e ondas curtas DSSS. Tanto o FHSS quanto o DHSS utilizam uma parte do espectro de radiofrequências que não exige licenciamento (ISM – Industrial, Scientific and Medical).

Em 1999 foram apresentadas novas técnicas para alcançar maior largura de banda: são elas a OFDM e a HR-DSSS. A OFDM permitiu a taxa de 54 Mbps, enquanto que a HR-DSSS alcança 11 Mbps.

Em 2001, a OFDM foi modificada para trabalhar também com taxas de 54 Mbps.



**Figura 3 – Parte da pilha de protocolos IEEE 802.11**

## 3. A CAMADA FÍSICA

Como visto, a camada física do IEEE 802.11 apresenta 5 técnicas distintas de transmissão.

### 3.1 INFRAVERMELHO

- Transmissão difusa a 0,85 ou 0,95 micron, taxas de 1 Mbps ou 2 Mbps.

### 3.2 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)

- Espectro de Dispersão de Saltos de Frequências.
- Utiliza 79 canais de 1 MHz de largura cada, na banda ISM. Um gerador de números é usado para produzir a sequência de frequências dos saltos. Todas as estações mantêm-se sincronizadas. O período de tempo em cada frequência, chamado Tempo de Permanência, é ajustável e menor que 400 ms.

- Esta técnica fornece alguma segurança e torna a rede relativamente insensível à interferência de rádio, o que a faz interessante para ser utilizada em enlaces externos, como por exemplo entre dois edifícios. Como desvantagem principal, oferece baixa largura de banda.

### 3.3 DSSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)

- Espectro de Dispersão de Sequência Direta
- Nesta técnica, cada tempo de duração de um bit é subdividido em 11 intervalos curtos, denominados chips. Cada estação tem sua própria sequência exclusiva de chips. Para transmitir um bit 1, a estação transmite a sequência de bits do seu chip. Para transmitir o bit 0, é transmitido o complemento a 1 desta sequência. Por exemplo:

Bit 1 – 00110110101

Bit 0 – 11001001010

- Os chips são transmitidos em paralelo, utilizando frequências distintas, utilizando canais estacionários de 22 MHz cada.
- A modulação adotada é a BPSK (Binary Phase Shift Keying) – Modulação Binária por Deslocamento de Fase, em que os bits 0 e 1 são representados por fases distintas.

### 3.4 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

- Multiplexação Ortogonal por Divisão de Frequência
- Utilizado para transmitir até 54 Mbps na Banda ISM de 5 GHz. São utilizadas 52 frequências, sendo 48 para dados e 4 para sincronização. Pode-se usar bandas não contíguas, e apresenta boa imunidade a interferências.
- A técnica OFDM é compatível com o padrão europeu HiperLAN/2.

### 3.5 HR-DSSS (High Rate Direct Sequence Spread Spectrum)

- Espectro de Dispersão de Sequência Direta de Alta Velocidade
- Esta técnica, utilizada no padrão IEEE 802.11b permite taxas de 1, 2, 5,5 e 11 Mbps, com alcance cerca de 7 vezes maior que a OFDM, utilizada para o padrão IEEE 802.1a.
- Funciona a 1.375 Mbaud, com 4 e 8 bits/ baud (chegando a 5,5 e 11 Mbps). As duas taxas mais baixas são compatíveis com o DSSS, funcionando a 1 Mbaud e 1 ou dois bits/ baud, chegando a 1 ou 2 Mbits/s, com Modulação Binária por Deslocamento de Fase.

#### 4. O PROTOCOLO DE SUBCAMADA MAC

O protocolo de acesso ao meio das redes sem fio deve levar em consideração os seguintes casos:

**Estação Oculta** (figura 4) – A quer transmitir para B, mas não pode ouvir que B está ocupada, pois C transmite para B e o seu rádio não alcança A:

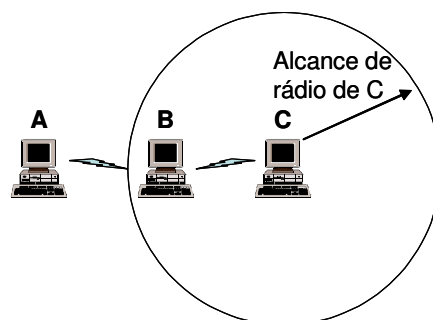


Figura 4 – O problema da Estação Oculta

**Estação Exposta** (figura 5) – B quer transmitir para C, mas pensa que não pode pois detecta a transmissão de A que, no entanto, não alcança C.

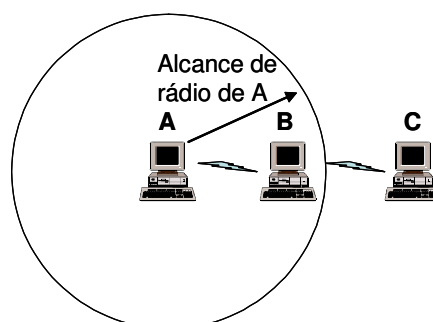
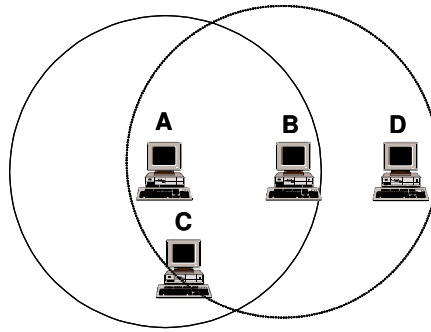


Figura 5 – O problema da Estação Exposta

O IEEE 802.11 admite dois modos de operação: O primeiro é chamado **DCF (Distributed Coordination Function)** – Função de Coordenação Distribuída, próprio para redes *Ad Hoc*, e o segundo é chamado **PCF (Point Coordination Function)** – Função de Coordenação de Ponto, para as redes com estação-base.

O protocolo de acesso ao meio é chamado **CSMA/CA (Carrier Sense, Multiple Access with Collision Avoidance)** – CSMA com Abstenção de Colisão

O modo de operação mais comum do CSMA/CA emprega a detecção de canal virtual. Supondo que A deseja transmitir para B e C está dentro do alcance de A e D está dentro do alcance de B, mas não de A.

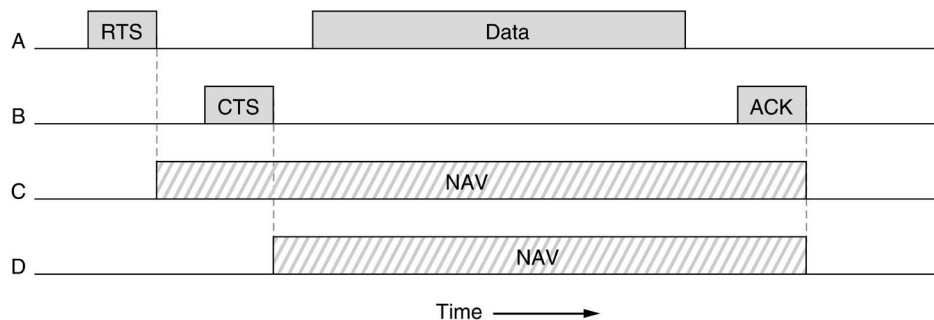


**Figura 6 – Método de Acesso CSMA/CA**

Quando **A** decide transmitir, envia um sinal **RTS** (Request to Send) a **B**, solicitando permissão para enviar um quadro. Caso **B** decida conceder a transmissão, envia de resposta um quadro **CTS** (Clear to Send). **A**, então envia o quadro e inicia um temporizador **ACK**. Ao receber o quadro, **B** responde com o quadro **ACK**. Caso o temporizador se expire antes de receber o **ACK**, **A** repete a transmissão do início.

**C** está dentro do alcance de **A**, portanto também recebe o **RTS**. Caso **C** desejasse transmitir, ela desistiria pelo tempo esperado pela transmissão de **A** (passado como parâmetro no **RTS**) e reivindica um “canal virtual”, indicado por **NAV** (Network Allocation Vector) – Vetor de Alocação de Rede. Da mesma forma, **D** não escuta o **RTS**, mas escuta o **CTS**, e assim reivindica um **NAV** para ela própria.

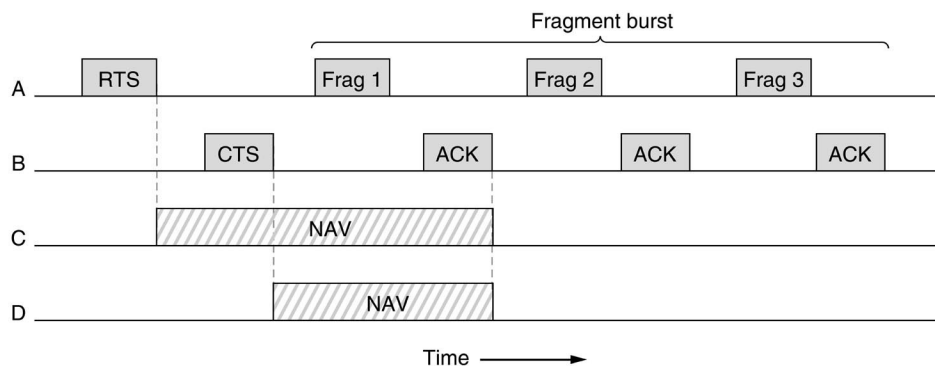
Os sinais **NAV** não são transmitidos, são lembretes internos de que a estação deve se manter inativa por um período de tempo.



**Figura 7 – Detecção de canal virtual em CSMA/CA**

Quanto maior for o comprimento do quadro, menor é a probabilidade do mesmo ser transmitido com sucesso. Para evitar o grande número de erros em canais ruidosos, o IEEE 802.11 permite que os quadros sejam fragmentados em partes menores (fragmentos), cada qual com a sua verificação, e numerados sequencialmente. A transmissão de uma sequência de fragmentos é chamada de **rajada de fragmentos**.

O tamanho do fragmento não é fixado pelo padrão, mas é um parâmetro de cada célula e pode ser ajustado pela estação-base.



**Figura 8 – Rajada de Fragmentos**

Para as transmissões do modo **DCF** não existe um controle central, e as estações concorrem pelo acesso à transmissão. Para as transmissões que utilizam o modo **PCF**, entretanto, a ordem de transmissão é controlada pela estação-base, através de um mecanismo de *polling* de cada estação da célula.

Neste caso é enviado um **quadro de baliza** (de 10 a 100 por segundo), que, entre outras funções, convida as estações a se inscreverem no polling. É garantida à estação uma certa taxa, com determinada largura de banda, o que garante uma certa qualidade de serviço.

A estação-base pode orientar uma estação a entrar no modo de espera, até ser despertada explicitamente pela estação-base ou pelo usuário. Neste caso cabe à estação-base armazenar em buffer todos os quadros destinados à estação inativa, para serem enviados posteriormente.

**PCF** e **DCF** podem coexistir dentro de uma célula. O IEEE 802.11 oferece um meio engenhoso para atingir este objetivo. São definidos quatro intervalos de tempo distintos, cada qual com uma finalidade específica:

#### **SIFS (Short InterFrame Spacing) – Espaçamento Curto entre Quadros**

Utilizado para permitir que as partes de uma única comunicação tenham a chance de “ganhar o canal” e transmitir primeiro. (trocas de RTS, CTS, Fragmentos e ACK)

#### **PIFS (PCF InterFrame Spacing) – Espaçamento de Quadros PCF**

Após o intervalo SIFS, se não houver nenhuma transmissão, a estação-base envia um quadro de baliza ou um quadro de polling, oferecendo à estação-base a chance de se apoderar do canal.

#### **DIFS (DCF Interframe Spacing) – Espaçamento de Quadros DCF**

Neste momento qualquer estação pode tentar apoderar-se do canal para enviar um novo quadro. Pode haver colisão, sendo necessário utilizar o algoritmo de recuo binário exponencial para resolver a contenda pelo acesso ao meio.

## EIFS (Extender Interframe Spacing) – Espaçamento Estendido entre Quadros

Utilizado no caso de uma estação receber um quadro defeituoso, a fim de informar sobre a presença de quadros defeituosos. Este evento tem a prioridade mais baixa.

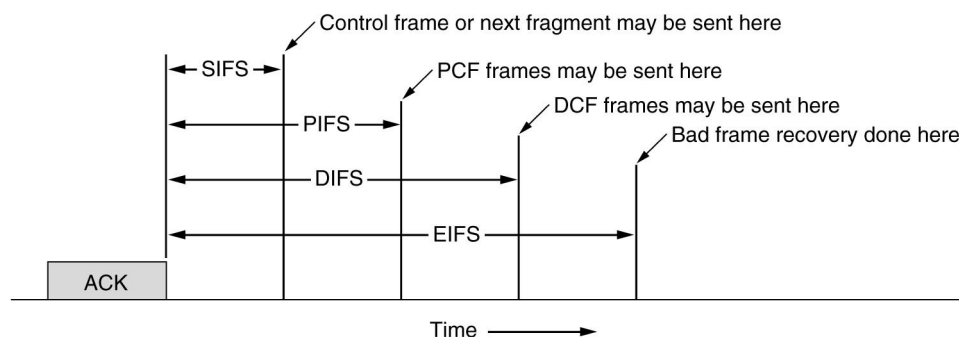


Figura 9 – Espaçamento entre quadros no IEEE 802.11

## 5. ESTRUTURA DO QUADRO

O Padrão IEEE 802.11 descreve três diferentes classes de quadros: dados, controle e gerenciamento, cada qual com um cabeçalho diferente.

O quadro MAC do IEEE 802.11 possui os seguintes campos:

### – Controle de Quadro – Com 11 sub-campos:

- Versão do protocolo.
- Tipo – dados, controle ou gerenciamento.
- Subtipo – RTC, CTS, ACK, etc.
- Para DS – indo para um sistema de distribuição entre células (LAN com fio).
- De DS – vindo de um sistema de distribuição entre células (LAN com fio).
- MF – Indica que há mais fragmentos.
- Repetir – Indica que é uma retransmissão de quadro.
- Gerenciamento de Energia – usado pela estação base para colocar ou retirar o DTE do estado de espera.
- Mais – indica que o transmissor tem quadros adicionais para o receptor.
- W – especifica se o corpo do quadro foi criptografado com o algoritmo **WEP (Wired Equivalent Privacy)** – Privacidade Equivalente quando Fisicamente Conectado.
- O – indica ao receptor que uma sequência de dados com este bit setado tem que ser processada estritamente em ordem.



– **Duração**

- Informa por quanto tempo o quadro e a sua confirmação ocuparão o canal. Utilizado para administrar o mecanismo NAV.

– **Endereços**

O cabeçalho possui quatro endereços no formato IEEE 802:

- Endereço de Destino
- Endereço de Origem
- Endereço da Estação-base de Destino
- Endereço da Estação-base de Origem

Os campos de endereços das estações-base de destino e de origem são utilizados no tráfego entre células.

– **Seqüência**

- Utilizado na numeração de fragmentos de quadros, utilizando 12 bits para identificar o quadro e 4 bits para identificar o fragmento.

– **Dados**

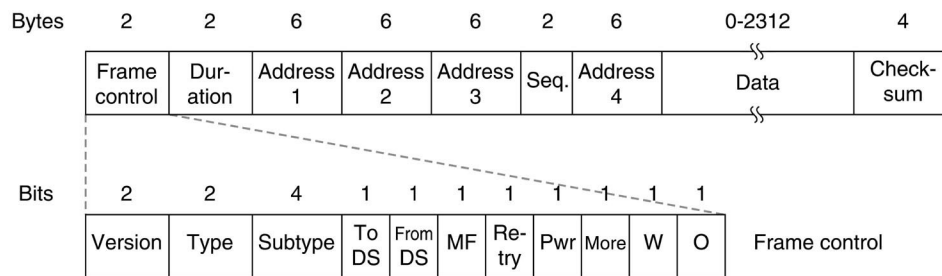
- Possui carga útil de até 2312 bytes.

– **FCS**

- Faz a verificação de integridade da seqüência de bits do quadro, através de um algoritmo de redundância cíclica.

Os quadros de gerenciamento são restritos a uma única célula, não possuindo, portanto, os campos de Endereços da estação-base.

Os quadros de controle, além dos campos de Endereços da estação-base, não possuem os campos Dados e Seqüência



**Figura 9 – O quadro de dados do IEEE 802.11**

## 6. SERVIÇOS

São estabelecidos nove serviços para o padrão IEEE 802.11, divididos em duas categorias:

### 6.1 SERVIÇOS DE DISTRIBUIÇÃO

Fornecidos pela estação-base e lidam com a mobilidade das estações à medida que entram e saem das células.

Os Serviços de Distribuição são os seguintes:

Associação – utilizado pelas estações móveis para conectá-las às estações-base.

Desassociação – utilizado pela estação móvel ou pela estação-base para interromper o relacionamento.

Reassociação – Utilizado no deslocamento de uma célula para outra.

Distribuição – Determina como rotear quadros enviados à estação-base

Integração – Converte o quadro do formato IEEE 802.11 para o formato exigido pela rede de destino.

### 6.2 SERVIÇOS INTRACÉLULA

Se relacionam a ações dentro da célula e são usados depois que ocorre a associação.

Serviços Intracélula são os seguintes:

Autenticação – Após a associação, a estação-base envia um quadro de “desafio” especial para permitir a autenticação da estação móvel. Esta criptografa o quadro de desafio e devolve à estação-base. Se o resultado for correto a estação é registrada na célula.

Desautenticação – Utilizado no momento que uma estação autenticada deseje deixar a rede

Privacidade – Este serviço administra a criptografia e decriptografia (Algoritmo RC4)

Entrega de dados – Serviço para transmitir e receber dados, sem confiabilidade.

## **7. BIBLIOGRAFIA**

- Tanenbaum, Andrew S. – REDES DE COMPUTADORES (4<sup>a</sup> Edição)  
Editora Campus, 2003
- Geier, Jim – WIRELESS LANs  
Macmillan Technical Publishing, 1999