

6 REDES SEM FIO E IP MÓVEL

Discutimos redes com fios (também chamadas redes cabeadas ou redes guiadas) no Capítulo 5. Neste capítulo, apresentamos as redes sem fio. Discutiremos diversas tecnologias sem fio, incluindo LANs e outras redes sem fio, como telefonia celular, satélites e redes de acesso.

A natureza das redes sem fio é diferente daquela das LANs com fio, conforme veremos neste capítulo. A utilização de outras redes sem fio, como telefonia celular e comunicação via satélite, está aumentando na Internet. Dedicamos uma seção deste capítulo ao IP móvel: o uso do protocolo IP com estações móveis.

A tecnologia sem fio abrange, na realidade, tanto a camada de enlace de dados como a camada física da pilha de protocolos TCP/IP. Aqui, nos concentraremos principalmente nas questões relacionadas à camada de enlace de dados, adiando questões relativas à camada física até o Capítulo 7. Este capítulo é dividido em três seções:

- ▶ A primeira seção apresenta as LANs sem fio e as compara com as LANs com fio, as quais foram discutidas no Capítulo 5. Discutimos, então, o projeto IEEE 802.11, padrão dominante em LANs sem fio. Em seguida, abordamos as LANs Bluetooth, que são usadas como LANs individuais em muitas aplicações. Finalmente, discutimos a tecnologia WiMAX, que é a correspondente sem fio às redes cabeadas de última milha como DSL ou redes a cabo.
- ▶ A segunda seção discute outras redes sem fio que podem ser classificadas como WANs sem fio ou redes de banda larga sem fio. Primeiramente, discutimos o método de acesso conhecido como canalização, utilizado em telefones celulares. Em seguida, abordamos a telefonia celular em si. Também tratamos de questões relativas aos satélites que fazem parte das tecnologias de conexão à Internet.
- ▶ A terceira seção cobre a área de IP móvel, que fornece acesso móvel à Internet. Começamos discutindo endereçamento, um grande problema no contexto de redes móveis. Em seguida, explicamos as três fases do acesso móvel. Finalmente, apontamos questões de ineficiência no móvel IP.

6.1 LANs SEM FIO

A comunicação sem fio é uma das tecnologias que vêm crescendo mais rapidamente na atualidade. A procura por dispositivos de conexão que não usam cabos está aumentando em todo lugar. LANs sem fio podem ser encontradas em universidades, edifícios comerciais e muitas áreas públicas.

6.1.1 Introdução

Antes de discutirmos um protocolo específico relacionado às LANs sem fio, explicaremos tais redes de forma geral.

Comparação arquitetural

Começemos por uma comparação entre a arquitetura de redes locais com e sem fio para fornecer-mos uma ideia inicial do que precisamos observar no estudo das LANs sem fio.

Meio físico

A primeira diferença que podemos observar entre uma LAN com fio e uma LAN sem fio refere-se ao meio de transmissão. Em uma LAN com fio, usamos fios (cabos) para conectar estações. No Capítulo 5, observamos a migração de tecnologias de acesso múltiplo para métodos de acesso ponto a ponto ao longo das gerações da Ethernet. Em uma LAN comutada, com um *switch* da camada de enlace, a comunicação entre os *hosts* é ponto a ponto e bidirecional (*full duplex*). Em uma LAN sem fio, o meio é o ar e o sinal é geralmente transmitido na forma de *broadcast*. Quando os *hosts* se comunicam entre si em uma LAN sem fio, eles estão compartilhando o mesmo meio físico (acesso múltiplo). Em uma situação muito rara, podemos criar uma comunicação ponto a ponto entre dois *hosts* sem fio usando uma largura de banda muito estreita e duas antenas direcionais. Nossa discussão neste capítulo, no entanto, concentra-se no cenário de acesso múltiplo ao meio, o que significa que precisamos usar protocolos de Controle de Acesso ao Meio (MAC – Medium Access Control).

Hosts

Em uma LAN com fio, um *host* está sempre conectado à sua rede por um ponto de acesso, tendo um endereço da camada de enlace fixo definido por sua placa de rede (NIC). Obviamente, um *host* pode se mover de um ponto da Internet para outro. Nesse caso, o seu endereço da camada de enlace permanece igual, porém o endereço na camada de rede mudará, conforme será discutido mais adiante, na seção sobre IP Móvel. Entretanto, antes que o *host* possa usar os serviços da Internet, ele precisa estar fisicamente conectado à Internet. Em uma LAN sem fio, um *host* não fica fisicamente conectado à rede; ele pode se mover livremente (conforme veremos mais adiante) e ainda assim usar os serviços prestados pela rede. Portanto, a mobilidade em uma rede com fio e em uma rede sem fio são questões totalmente diferentes, que tentamos esclarecer neste capítulo.

LANs isoladas

O conceito de uma LAN com fio isolada também difere do conceito de uma LAN sem fio isolada. Uma LAN com fio isolada consiste em um conjunto de estações conectadas entre si por meio de um *switch* da camada de enlace (na geração mais recente da Ethernet). Uma LAN sem fio isolada, denominada *rede ad hoc** na terminologia de LAN sem fios, consiste em um conjunto de *hosts* que se comunicam livremente uns com os outros. O conceito de *switch* operando na camada de enlace não existe em LANs sem fio. A Figura 6.1 mostra duas LANs isoladas, uma com fios e outra sem.

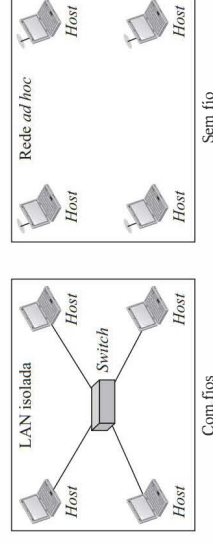


Figura 6.1 LANs isoladas: com fios versus sem fio.

* N. de T.: O termo *ad hoc* é uma expressão em latim que significa "para isto", sendo geralmente usada para designar uma solução concebida para um propósito específico, sem a intenção de que ela seja generalizada.

Conexão com outras redes

Uma LAN com fio pode ser conectada a outra rede ou a um conjunto de redes (por exemplo, a Internet) por meio de um roteador. Um LAN sem fio pode ser conectada a uma infraestrutura de rede com fios, a uma infraestrutura de rede sem fio ou a outra LAN sem fio. Nesta seção, discutimos a primeira situação: a conexão de uma LAN sem fio a uma infraestrutura de rede com fios. A Figura 6.2 mostra esses dois ambientes.

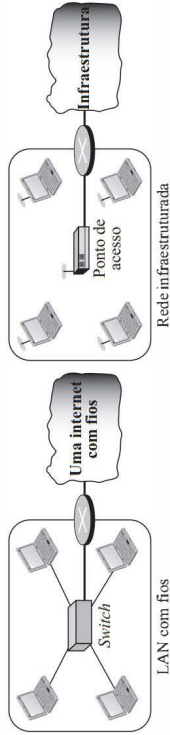


Figura 6.2 Conexão de uma LAN com fios e uma LAN sem fio a outras redes.

Nesse caso, a rede sem fio é denominada *rede em infraestrutura* e a conexão à infraestrutura com fios, como a Internet, é feita por meio de um dispositivo conhecido como **Ponto de Acesso** (AP – Access Point). Perceba que o papel do AP é completamente distinto do papel de um *switch* da camada de enlace em um ambiente com fios. Um ponto de acesso interliga dois ambientes distintos entre si: um com fios e outro sem. A comunicação entre o AP e o *host* sem fio ocorre em um ambiente sem fio; a comunicação entre o AP e a infraestrutura ocorre em um ambiente com fios.

Migrando entre ambientes

A discussão anterior confirma o que aprendemos no capítulo anterior: tanto as LANs com fios como as LANs sem fio operam apenas nas duas camadas mais baixas da pilha de protocolos TCP/IP. Isso significa que se tivermos uma LAN com fios em um prédio que está conectado à Internet por meio de um roteador ou de um modem, tudo que é preciso fazer para migrarmos do ambiente com fios para o ambiente sem fio é substituir as placas de rede projetadas para um ambiente com fios por outras projetadas para um ambiente sem fio, além de substituir o *switch* da camada de enlace por um ponto de acesso. Com essa alteração, os endereços da camada de enlace mudarão (em razão da substituição dos NICs), porém os endereços da camada de rede (endereços IP) permanecerão os mesmos: estamos migrando de enlaces com fios para enlaces sem fio.

Características

Existem diversas características de LANs sem fio que não se aplicam a LANs com fios ou cujo efeito é desprezível e pode ser ignorado. Discutiremos algumas dessas características aqui com o objetivo de preparar o caminho para abordarmos protocolos de LANs sem fio.

Atenuação

A força dos sinais eletromagnéticos diminui rapidamente porque o sinal se dispersa em todas as direções: apenas uma pequena porção dessa energia atinge o receptor. A situação piora com emissores móveis que operam com baterias e, normalmente, apresentam uma fonte de energia limitada.

Interferência

Outro problema é que um receptor pode receber sinais não apenas do emissor desejado, mas também de outros emissores, caso eles estejam usando a mesma faixa de frequência.

Propagação por múltiplos caminhos

Um receptor pode receber mais que um sinal do mesmo remetente porque as ondas eletromagnéticas podem ser refletidas por obstáculos, como paredes, chão ou objetos. O resultado é que o receptor recebe sinais diferentes com fases distintas (porque eles viajaram por caminhos diferentes). Isso torna o sinal menos reconectível pelo receptor.

Erros

Devido às características anteriores de uma rede sem fio, podemos esperar que os erros e a detecção de erros sejam problemas mais graves em uma rede sem fio do que em uma rede com fios. Se considerarmos o nível de erro como a medida da **relação Sinal/Ruído** (S/R, também conhecida como *signal-to-noise ratio*, ou SNR), podemos entender melhor o porque da detecção de erros, da correção de erros e da retransmissão serem mais importantes em uma rede sem fio. Discutimos a S/R com mais detalhes no Capítulo 7, mas por ora é suficiente dizer que essa relação mede a proporção entre coisas boas e coisas ruins (sinal e ruído). Se a S/R for alta, significa que o sinal é mais forte do que o ruído (sinal indesejado), de modo que seremos capazes de converter o sinal nos dados de fato. Por outro lado, quando a S/R é baixa, significa que o sinal é corrompido pelo ruído e os dados não podem ser recuperados.

Controle de acesso

Provavelmente, a questão mais importante que precisamos discutir em uma LAN sem fio refere-se ao controle de acesso – como uma estação sem fio pode obter acesso ao meio compartilhado (o ar). Discutimos, no Capítulo 5, que a Ethernet padrão usava o algoritmo CSMA/CD. Nesse método, as estações disputam o acesso ao meio e enviam seus quadros se eles perceberem que o meio está ocioso. Se ocorrer uma colisão, ela é detectada e o quadro é enviado novamente. A detecção de colisão no CSMA/CD serve para dois propósitos. Se uma colisão for detectada, significa que o quadro não foi recebido e precisa ser reenviado. Se uma colisão não for detectada, pode-se considerar isto como uma confirmação de que o quadro foi recebido. O algoritmo CSMA/CD não funciona em LANs sem fio por três razões:

1. Para detectar uma colisão, uma estação precisa ser capaz de enviar e receber ao mesmo tempo (enviar o quadro e receber o sinal de colisão), o que significa que a estação precisa operar em um modo duplex. Muitas estações sem fio não têm potência suficiente para fazer isto (a energia é fornecida por baterias). Elas são capazes apenas de alternar entre enviar ou receber, mas não podem fazer ambos simultaneamente.
2. Devido ao problema da estação escondida, de acordo com o qual uma estação pode não estar ciente da transmissão de outra estação em razão de algum obstáculo ou a problemas de alcance, colisões podem ocorrer sem serem detectadas. A Figura 6.3 mostra um

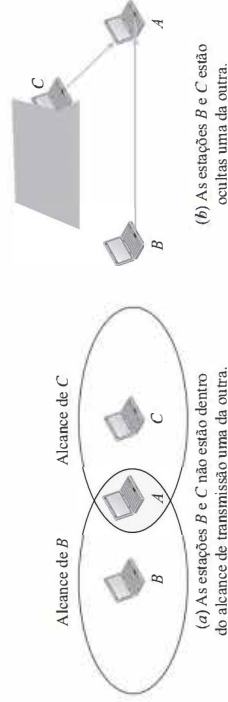


Figura 6.3 Problema da estação escondida.

exemplo do problema da estação escondida. O alcance de transmissão da estação *B* é representado pela forma ovalada à esquerda (esfera no espaço); todas as estações nessa região são capazes de ouvir qualquer sinal transmitido pela estação *B*. O alcance de transmissão da estação *C* é representado pela forma ovalada à direita (esfera no espaço); todas as estações localizadas nessa região são capazes de ouvir qualquer sinal transmitido por *C*. A estação *C* está fora do alcance de transmissão de *B*; de modo semelhante, a estação *B* está fora do alcance de transmissão de *C*. A estação *A*, no entanto, está na área coberta tanto por *B* como por *C*; ela é capaz de perceber qualquer sinal transmitido por *B* ou por *C*. A figura também mostra que o problema da estação escondida também pode ocorrer devido a um obstáculo.

Suponha que a estação *B* esteja enviando dados para a estação *A*. No meio dessa transmissão, a estação *C* também tem dados para enviar à estação *A*. No entanto, a estação *C* encontra-se fora do alcance de transmissão de *B*, de modo que as transmissões provenientes de *B* não chegam a *C*. Portanto, *C* acredita que o meio está ocioso. A estação *C* envia seus dados para a estação *A*, o que resulta em uma colisão em *A*, pois essa estação está recebendo dados tanto de *B* quanto de *C*. Nesse caso, podemos dizer que as estações *B* e *C* estão escondidas uma da outra em relação à estação *A*. Estações escondidas podem reduzir a capacidade de transmissão da rede devido à possibilidade de colisões.

3. A distância entre as estações pode ser grande. O desvanecimento do sinal poderia impedir que uma estação em uma extremidade ouvisse uma colisão na outra extremidade.

Para superar os três problemas anteriores, foi inventado o método Acesso Múltiplo com Verificação de Portadora/Prevenção de Colisão (CSMA/CA – Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) para LANs sem fio, que discutiremos mais adiante.

6.1.2 Projeto IEEE 802.11

O IEEE definiu as especificações para uma LAN sem fio, o padrão denominado IEEE 802.11, que abrange as camadas física e de enlace de dados. Em alguns países, incluindo os Estados Unidos e o Brasil, o público usa o termo *WiFi* (abreviatura de *Wireless Fidelity*, ou Fidelidade Sem Fio) como sinônimo de *LAN sem fio*. O termo *WiFi*, no entanto, refere-se a uma LAN sem fio que é certificada pela *WiFi Alliance*^{*}, uma associação industrial global e sem fins lucrativos constituída por mais de 300 empresas dedicadas a promover o crescimento das LANs sem fio.

Arquitetura

O padrão 802.11 especifica dois tipos de serviços: Conjunto Básico de Serviços (BSS – Basic Service Set) e Conjunto Estendido de Serviços (ESS – Extended Service Set).

Conjunto Básico de Serviços

O IEEE 802.11 define o Conjunto Básico de Serviços (BSS – Basic Service Set) como a coleção de blocos construídos de uma LAN sem fio. Um conjunto básico de serviços é composto por estações sem fio fixas ou móveis, bem como por uma estação-base central opcional conhecida como o Ponto de Acesso (AP – Access Point). A Figura 6.4 mostra dois cenários seguindo esse padrão.

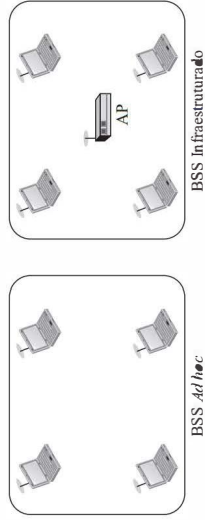


Figura 6.4 Conjunto Básico de Serviços (BSSs).

O BSS sem um AP é uma rede independente e incapaz de enviar dados para outros BSSs. Isto é conhecido como *arquitetura ad hoc*. Nessa arquitetura, as estações podem formar uma rede sem a necessidade de um AP; podem localizar umas às outras e concordar em fazer parte de um BSS. O BSS com um AP é também conhecido como *BSS infraestruturado*.

Conjunto Estendido de Serviços

Um **Conjunto Estendido de Serviços** (ESS – Extended Service Set) é composto por dois ou mais BSSs com APs. Nesse caso, os BSSs são conectados por meio de um Sistema de Distribuição (DS – Distribution System), que pode ser uma rede com fios ou sem. O sistema de distribuição interconecta os APs dos diferentes BSSs. O IEEE 802.11 não impõe restrições ao sistema de distribuição, que pode ser qualquer LAN IEEE, como uma LAN Ethernet. Perceba que o conjunto estendido de serviços usa dois tipos de estações: móveis e fixas. As móveis são estações normais dentro de um BSS. As fixas são estações do tipo AP que fazem parte de uma LAN com fios. A Figura 6.5 mostra um ESS.

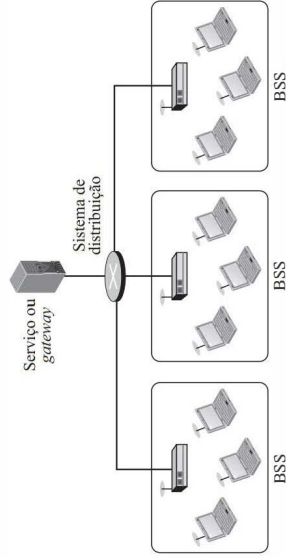


Figura 6.5 Conjunto Estendido de Serviços (ESS).

Quando os BSSs estão conectados, as estações (dentro do alcance umas das outras) podem se comunicar sem utilizar um AP. No entanto, a comunicação entre uma estação em um BSS e uma estação fora daquele BSS ocorre por meio do AP. A ideia é semelhante à comunicação em uma rede celular (discutida mais adiante) se considerarmos cada BSS como uma célula e cada AP como uma estação-base. Perceba que uma estação móvel pode pertencer a mais de um BSS ao mesmo tempo.

* N. de T.: O principal objetivo da *WiFi Alliance* é certificar a conformidade aos padrões IEEE 802.11 para equipamentos de redes sem fio, de modo que eles operem adequadamente com os demais equipamentos já certificados.

Tipos de estação

O IEEE 802.11 define três tipos de estação com base na sua mobilidade em uma LAN sem fio: *sem transição*, *transição inter-BSS*, e *transição inter-ESS*. Uma estação com mobilidade do tipo sem transição pode ser fixa (não está se movendo) ou estar se movendo apenas dentro de um mesmo BSS. Uma estação com mobilidade do tipo transição inter-BSS pode se mover de um BSS para outro, porém sua movimentação está confinada ao interior de um mesmo ESS. Uma estação com mobilidade do tipo transição inter-ESS pode se mover de um ESS para outro. No entanto, o IEEE 802.11 não garante que a comunicação seja contínua durante a movimentação.

Subcamada MAC

O IEEE 802.11 define duas subcamadas MAC: Função de Coordenação Distribuída (DCF – Distributed Coordination Function) e Função de Coordenação Pontual (PCF – Point Coordination Function). A Figura 6.6 mostra a relação entre as duas subcamadas MAC, a subcamada LLC e a camada física. Discutimos as implementações da camada física mais adiante, mas, por ora, nos concentramos na subcamada MAC.

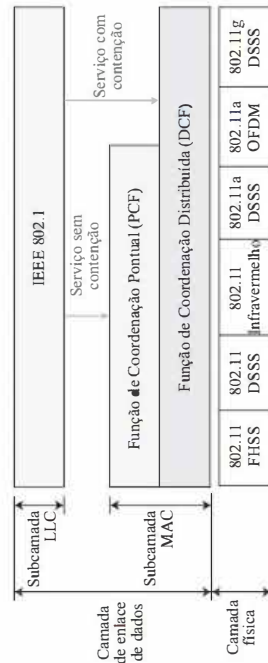


Figura 6.6 Camadas MAC no padrão IEEE 802.11

Função de Coordenação Distribuída

Um dos dois protocolos definidos pelo IEEE na subcamada MAC é denominado **Função de Coordenação Distribuída** (DCF – Distributed Coordination Function). O DCF usa o CSMA/CA como método de acesso.

CSMA/CA Como precisamos evitar colisões em redes sem fio dado que elas não podem ser detectadas, o Acesso Múltiplo com Verificação de Portadora/Prevenção de Colisão (CSMA/CA – Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) foi inventado para esse tipo de rede. Colisões são evitadas no CSMA/CA pela aplicação de três estratégias: espaço entre quadros, janela de contenção, e confirmações, conforme mostra a Figura 6.7. Discutimos os quadros RTS e CTS mais adiante.

► **Espaço entre quadros.** Primeiramente, as colisões são evitadas ao adiar a transmissão mesmo quando a estação detectar que o canal está ocioso. Quando a estação percebe que o canal está ocioso, ela não envia quadros imediatamente. Ela espera por um período de tempo denominado *Espaço entre Quadros*, ou *IFS* (Interframe Space). Embora o canal possa parecer ocioso quando verificado, uma estação distante pode já ter começado a transmitir. O sinal de tal estação distante ainda não chegou à estação verificando o meio. O tempo de IFS permite que a frente do sinal transmitido pela estação distante alcance a

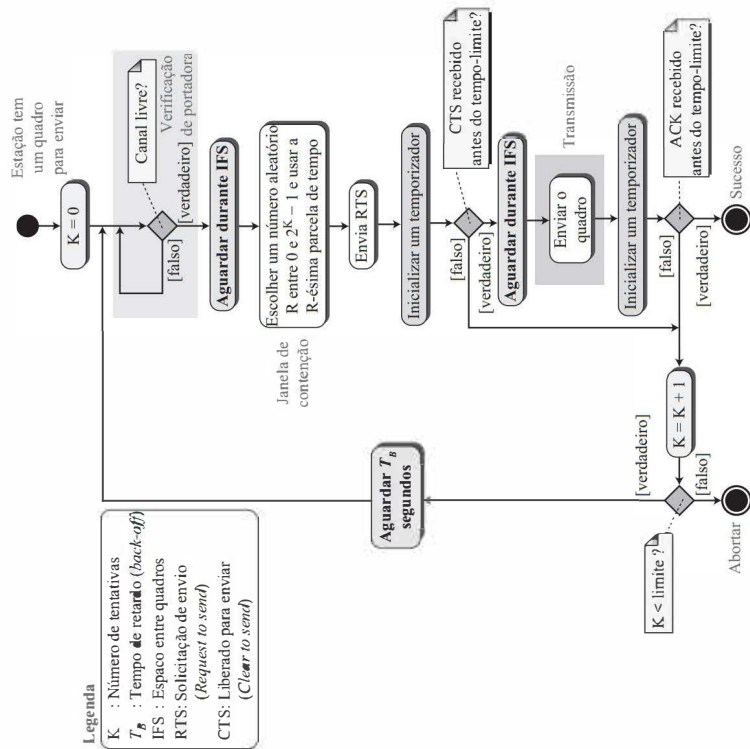


Figura 6.7 Diagrama de fluxo do CSMA/CA

estação que está verificando o meio. Depois de esperar um intervalo igual a IFS, caso o canal continue ocioso, a estação pode enviar quadros, porém ela ainda precisa aguardar um intervalo de tempo igual ao tempo de contenção (descrito a seguir). A variável IFS também pode ser usada para priorizar estações ou tipos de quadros. Por exemplo, uma estação à qual é atribuído um IFS menor tem uma prioridade mais alta.

► **Janela de contenção.** A janela de contenção consiste em um período dividido em parcelas (*slos*). Uma estação que esteja pronta para enviar quadros escolhe um número aleatório de parcelas de tempo, que é usado como seu intervalo de espera. Esse número varia de acordo com a estratégia de retardo exponencial binário. Isso significa que seu valor é inicializado em um e enão dobra cada vez que a estação não conseguir detectar a ociosidade do canal após o intervalo de IFS. É muito semelhante ao método *p*-persistente, exceto pelo fato de que um resultado aleatório define o número de parcelas de tempo utilizado pela estação que está aguardando. Um ponto interessante sobre a janela de contenção é que a estação precisa verificar o canal após cada parcela de tempo. No entanto, se encontrar o canal ocupado, ela não reinicia o processo;

apenas pausa o temporizador e o reinicia quando percebe que o canal está ocioso. Esse processo dá maior prioridade para estações que estejam esperando por mais tempo. Ver a Figura 6.8.

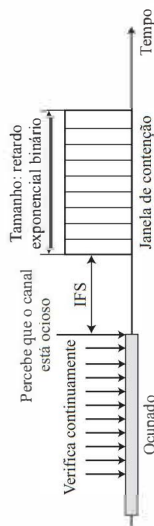


Figura 6.8 Janela de contenção.

► **Confirmação (ACK).** Mesmo tomando todas essas precauções, ainda pode ocorrer uma colisão que leve à destruição dos dados. Além disso, eles podem ser corrompidos durante a transmissão. A confirmação positiva e o temporizador com um tempo-limite podem ajudar a garantir que o receptor recebeu o quadro.

Linha de tempo da troca de quadros A Figura 6.9 mostra a troca de quadros de dados e de controle ao longo do tempo.

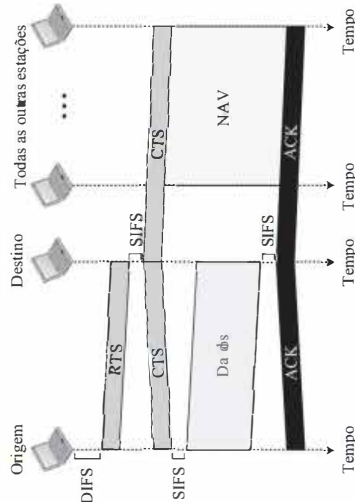


Figura 6.9 CSMA/CA e NAV.

1. Antes de enviar um quadro, a estação de origem verifica o meio, examinando o nível de energia na frequência portadora.

- A estação usa uma estratégia de persistência com retardo até que o canal esteja ocioso.
- Após a estação perceber que o meio encontra-se ocioso, ela espera por um período de tempo denominado Espaço Entre Quadros DCF (DIFS – DCF Interframe Space^{*}); em seguida, a estação envia um quadro de controle conhecido como *Solicitação de Envio* (RTS – Request To Send).

* N. de T.: A literatura também define o termo DIFS como Distributed Interframe Space, ou Espaço Distribuído entre quadros.

- Depois de receber o RTS e esperar um período de tempo conhecido como Espaço Curto entre Quadros (SIFS – Short Interframe Space) a estação de destino envia um quadro de controle denominado *Liberado para Enviar* (CTS – Clear to Send) para a estação de origem. Esse quadro de controle indica que a estação de destino está pronta para receber dados.

- A estação de origem envia os dados depois de esperar um intervalo de tempo igual a SIFS.
- A estação de destino, após esperar um intervalo de tempo igual a SIFS, envia uma mensagem de confirmação para mostrar que o quadro foi recebido. A confirmação é necessária nesse protocolo porque a estação não tem condições de verificar a chegada bem-sucedida dos seus dados ao destino. Em comparação, a ausência de colisão no CSMA/CD de certa forma indica ao emissor que os dados chegaram.

Vetor de alocação de rede Como as outras estações adiam o envio dos seus dados após uma estação adquirir o direito de acesso ao meio? Em outras palavras, como funciona o aspecto de *prevenção de colisão* desse protocolo? A chave para isso é um recurso denominado NAV.

Quando uma estação envia um quadro de RTS, este inclui o intervalo durante o qual aquela estação precisa ocupar o canal. As estações que são afetadas por essa transmissão criam um temporizador conhecido como **Vetor de Alocação de Rede** (NAV – Network Allocation Vector), que determina quanto tempo deve se passar até que essas estações tenham permissão para verificar por ociosidade no canal. Cada vez que uma estação acessa o sistema e envia um quadro de RTS, as outras estações iniciam seus NAVs. Em outras palavras, cada estação, antes de verificar o meio físico para determinar se ele está ocioso, primeiro verifica o seu NAV para determinar se ele expirou. A Figura 6.9 ilustra a ideia do NAV.

Colisão durante o estabelecimento da conexão O que acontece se houver uma colisão durante o intervalo de tempo no qual os quadros de controle RTS ou CTS estão em trânsito, intervalo comumente denominado período de estabelecimento de conexão ou período de *handshaking*? Duas ou mais estações podem tentar enviar quadros RTS ao mesmo tempo. Esses quadros de controle podem colidir. Entretanto, como não existe um mecanismo para detectar colisões, o emissor assume que houve uma colisão caso ele não receba um quadro CTS vindo do receptor. A estratégia de retardo é aplicada e o emissor tenta novamente.

Problema da estação escondida A solução para o problema da estação escondida é a utilização dos quadros de estabelecimento de conexão (RTS e CTS). A Figura 6.3 mostra também que a mensagem de RTS proveniente de B atinge A, porém não C. No entanto, como B e C estão ambos dentro da área de alcance de A, a mensagem de CTS, que especifica a duração da transmissão de dados de B para A, atinge C. A estação C sabe que alguma estação escondida está usando o canal e se abstém de transmitir durante o intervalo de tempo especificado na mensagem de CTS.

Função de Coordenação Pontual

A Função de Coordenação Pontual (PCF – Point Coordination Function) é um método de acesso opcional que pode ser implementado em uma rede estruturada (e não em uma rede *ad hoc*). Ela é implementada sobre o DCF e é usada principalmente em transmissões sensíveis a questões de tempo.

A PCF adota o método de acesso centralizado e sem contenção conhecido como varredura, discutido no Capítulo 5. O AP faz a varredura das estações que são capazes de ser verificadas, uma após a outra, enviando ao AP todos os dados que elas desejarem.

Para dar maior prioridade ao PCF com relação ao DCF, outro espaço entre quadros, denominado PIFS, foi definido. O Espaço Entre Quadros PCF (PIFS – PCF Interframe Space) tem um valor menor do que o DIFS. Isso significa que, caso uma estação queira utilizar apenas o DCF ao mesmo tempo em que um AP queira usar o PCF, o AP tem maior prioridade.

Devido à prioridade do PCF sobre o DCF, as estações que utilizam apenas o DCF podem não ser capazes de acessar o meio. Para evitar que isso ocorra, um *intervalo de repetição* foi

projetado para lidar tanto com o tráfego livre de contenção do PCF como com o tráfego baseado em contenção do DCF. O intervalo de repetição, que é repetido continuamente, começa com um quadro de controle especial denominado *beacon frame* ou **quadro de sinalização**. Quando as estações recebem o quadro de sinalização, elas inicializam seus respectivos NAV com a duração do período livre de contenção do intervalo de repetição. A Figura 6.10 mostra um exemplo de um intervalo de repetição.

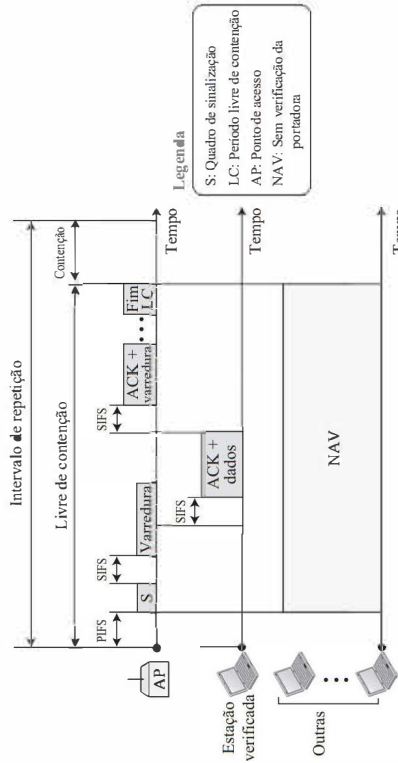


Figura 6.10 Exemplo de um intervalo de repetição.

Durante o intervalo de repetição, o CP (Controlador Pontual) pode enviar um quadro de verificação do processo de varredura, receber dados, enviar um ACK, receber um ACK ou qualquer combinação dessas ações (o 802.11 usa o mecanismo de carona, ou *piggybacking*). Ao final do período livre de contenção, o CP envia um quadro de “fim do LC” (fim do período livre de contenção) para permitir que as estações com acesso baseado em contenção usem o meio.

Fragmentação

O ambiente sem fio é muito ruidoso, razão pela qual os quadros são frequentemente corrompidos. Um quadro corrompido precisa ser retransmitido. O protocolo, portanto, recomenda a aplicação de fragmentação – a divisão de um quadro grande em quadros menores. É mais fácil reenviar um quadro pequeno do que um quadro grande.

Formato dos quadros

O quadro da subcamada MAC é composto por nove campos, conforme mostra a Figura 6.11.

- **Controle do Quadro (CQ).** O campo CQ tem 2 bytes de comprimento e especifica o tipo de quadro e algumas informações de controle. A Tabela 6.1 descreve os subcampos. Distintivos cada tipo de quadro mais adiante neste capítulo.
- **D.** Campo que especifica a duração da transmissão, usada para definir o valor do NAV. Em quadros de controle, ele define a identificação (ID) do quadro.

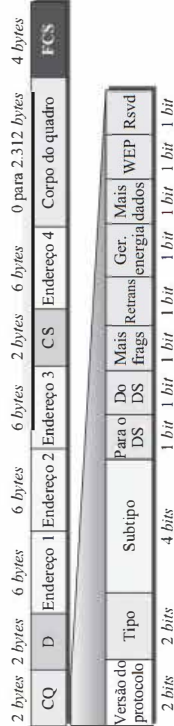


Figura 6.11 Formato dos quadros.

Tabela 6.1 Subcampos no campo CQ.	
Campo	Explicação
Versão	A versão atual é 0
Tipo	Tipo da informação: gerenciamento (00), controle (01) ou dados (10)
Subtipo	Subtipo de cada tipo (ver Tabela 6.2)
Para o DS	Definido mais adiante
Do DS	Definido mais adiante
Mais frags	Quando seu valor é 1, significa que há mais fragmentos
Retrans	Quando seu valor é 1, significa que o quadro é uma retransmissão
Ger. Energia	Quando seu valor é 1, significa que a estação está em modo de gerenciamento de energia
Mais dados	Quando seu valor é 1, significa que a estação tem mais dados para enviar
WEP	Wired Equivalent Privacy, ou Privacidade Equivalente à da Rede com Fios (cifração utilizada)
Rsvd	Reservado

- **Endereços.** Há quatro campos de endereços, cada um com 6 bytes de comprimento. O significado de cada campo de endereço depende do valor dos subcampos *Para o DS* e *Do DS*, conforme discutido mais adiante.
- **Controle de sequência.** Campo geralmente denominado campo CS, que contém um valor de 16 bits. Os primeiros quatro bits especificam o número do fragmento; os últimos 12 bits especificam o número de sequência, que é igual em todos os fragmentos.
- **Corpo do quadro.** Campo que pode ter entre 0 e 2.312 bytes e contém informações que dependem do tipo e do subtipo definido pelo campo de controle do quadro (CQ).
- **FCS.** O campo Sequência de Verificação de Quadros (FCS – Frame Check Sequence) tem 4 bytes de comprimento e contém uma sequência de detecção de erros do tipo CRC-32.

Tipos de quadros

Uma LAN sem fio especificada pelo IEEE 802.11 apresenta três categorias de quadros: quadros de gerenciamento, de controle e de dados.

* N. de T.: Em versões mais atuais do padrão 802.11, este subcampo foi renomeado para “Quadro Protegido” (Protected Frame).

Quadros de gerenciamento São usados na comunicação inicial entre as estações e os pontos de acesso.

Quadros de controle São usados para acessar o canal e confirmar a recepção de quadros. A Figura 6.12 mostra o formato desses quadros. Nos quadros de controle, o valor do campo de *tipo* é 01; os valores dos campos de *subtipo* para os quadros que discutimos aqui são mostrados na Tabela 6.2.



Figura 6.12 Quadros de controle.

Subtipo	Significado
1011	Solicitação de envio (RTS)
1100	Liberação para enviar (CTS)
1101	Confirmação (ACK)

Quadros de dados São usados para transportar dados e informações de controle.

Mecanismo de endereçamento

O mecanismo de endereçamento do IEEE 802.11 especifica quatro casos, definidos pelo valor de dois indicadores (*flags*) no campo CQ, *Para o DS* e *Do DS*. Cada indicador pode assumir o valor 0 ou 1, resultando em quatro situações diferentes. A interpretação dos quatro endereços (*Endereço 1* a *Endereço 4*) no quadro de MAC depende do valor desses indicadores, conforme mostra a Tabela 6.3.

Tabela 6.3 Endereços.					
Para o DS	Do DS	Endereço 1	Endereço 2	Endereço 3	Endereço 4
0	0	Destino	Origem	BSS-ID	N/A
0	1	Destino	AP emissor	Origem	N/A
1	0	AP receptor	Origem	Destino	N/A
1	1	AP receptor	AP emissor	Destino	Origem

Perceba que o *Endereço 1* sempre corresponde ao endereço do próximo dispositivo que o quadro visitará. O *Endereço 2* é sempre o endereço do dispositivo anterior, de onde o quadro veio. O *Endereço 3* é o endereço da estação de destino final, caso isto não seja definido pelo *Endereço 1*, ou a estação emissora original, caso isto não seja definido pelo *Endereço 2*. O *Endereço 4* corresponde ao endereço da estação emissora original quando o sistema de distribuição também é sem fio.

- Caso 1:** 00 Tem-se *Para o DS* = 0 e *Do DS* = 0. Isto significa que o quadro não está indo para um sistema de distribuição (*Para o DS* = 0) e não está vindo de um sistema de distribuição (*Do DS* = 0). Está indo de uma estação em um BSS para outra sem passar pelo sistema de distribuição. Os endereços são mostrados na Figura 6.13.
- Caso 2:** 01 Tem-se *Para o DS* = 0 e *Do DS* = 1. Isto significa que o quadro está vindo de um sistema de distribuição (*Do DS* = 1). Está vindo de um AP e indo para uma estação. Os endereços são mostrados na Figura 6.13. Observe que o *Endereço 3* especifica o remetente original do quadro (em outro BSS).
- Caso 3:** 10 Tem-se *Para o DS* = 1 e *Do DS* = 0. Isto significa que o quadro está indo para um sistema de distribuição (*Para o DS* = 1). Está indo de uma estação para um AP. O ACK é enviado para a estação emissora original. Os endereços são mostrados na Figura 6.13. Perceba que o *Endereço 3* contém o destino final do quadro no sistema de distribuição.
- Caso 4:** 11 Tem-se *Para o DS* = 1 e *Do DS* = 1. É o caso no qual o sistema de distribuição também é sem fio. O quadro está indo de um AP para outro em um sistema de distribuição sem fio. Aqui, precisamos de quatro endereços para especificar o emissor original, o destino final e os dois APs intermediários. A Figura 6.13 ilustra essa situação.

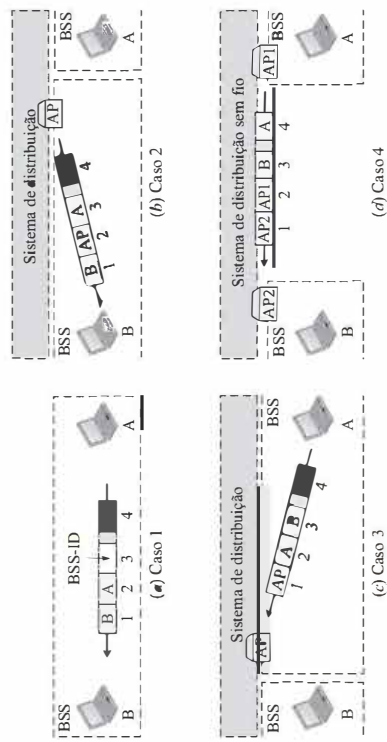


Figura 6.13 Mecanismos de endereçamento.

Problema da estação exposta

Discutimos anteriormente como resolver o problema da estação escondida. Um problema semelhante é conhecido como *problema da estação exposta*. Nele, uma estação se abstém de usar um canal quando ele está, na verdade, disponível. Na Figura 6.14, a estação A está transmitindo dados para a estação B. A estação C tem alguns dados para enviar à estação D, os quais podem ser enviados sem interferir com a transmissão de A para B. Entretanto, a estação C está exposta à transmissão proveniente de A; a estação C percebe que A está enviando dados e, portanto, se abstém de enviar seus próprios dados. Em outras palavras, C é muito conservadora e desperdiça a capacidade do canal. As mensagens de estabelecimento de conexão RTS e CTS não podem ajudar nesse caso. A estação C percebe o RTS enviado por A e se abstém de enviar, embora a comunicação entre C e D não possa causar uma colisão na região entre A e C; a estação C não tem como saber que a transmissão da estação A não afeta a região entre C e D.

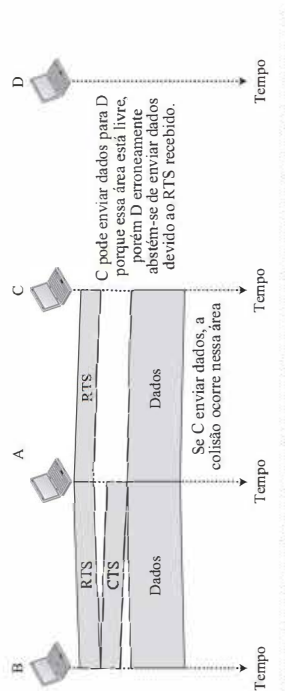


Figura 6.14 Problema da estação exposta.

Camada física

Discutimos seis especificações, conforme mostra a Tabela 6.4. Todas elas, exceto pelo infravermelho, operam na banda *Industrial, Científica e Médica* (ISM – Industrial, Scientific and Medical), que especifica três bandas não licenciadas nas seguintes faixas: 902-928 MHz, 2.400-4.835 GHz e 5.725-5.850 GHz.

IEEE	Técnica	Banda	Modulação	Taxa de Transmissão (Mbps)
802.11	FHSS	2.400-4.835 GHz	FSK	1 e 2
	DSSS	2.400-4.835 GHz	PSK	1 e 2
	Nenhuma	Infravermelho	PPM	1 e 2
802.11a	OFDM	5.725-5.850 GHz	PSK ou QAM	6 a 54
802.11b	DSSS	2.400-4.835 GHz	PSK	5,5 e 11
802.11g	OFDM	2.400-4.835 GHz	Diferente	22 e 54
802.11n	OFDM	5.725-5.850 GHz	Diferente	600

IEEE 802.11 FHSS

O IEEE 802.11 FHSS utiliza o método Espalhamento Espectral por Saltos em Frequências (FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum), discutido no Capítulo 7. O FHSS usa a banda ISM de 2.400-4.835 GHz. A banda é dividida em 79 sub-bandas de 1 MHz (e algumas bandas de guarda). Um gerador de números pseudoaleatórios seleciona a sequência de saltos. A técnica de modulação nessa especificação pode ser a Modulação por Chaveamento de Frequência (FSK – Frequency Shift Keying) de dois níveis ou a FSK de quatro níveis com 1 ou 2 *bits/aud*, o que resulta em uma taxa de transferência de dados de 1 ou 2 Mbps, conforme mostra a Figura 6.15.

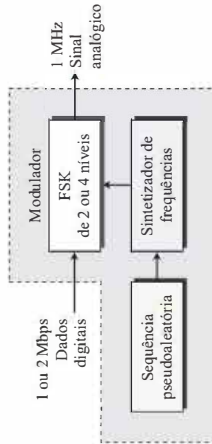


Figura 6.15 Camada física do IEEE 802.11 FHSS.

IEEE 802.11 DSSS

O IEEE 802.11 DSSS utiliza o método Espalhamento Espectral por Sequência Direta (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum), discutido no Capítulo 7. O DSSS usa a banda ISM de 2.400-4.835 GHz. A técnica de modulação nessa especificação é a Modulação por Chaveamento de Fase (PSK – Phase Shift Keying) a 1 Mbaud/s. O sistema permite 1 ou 2 *bits/aud*, usando BPSK (PSK Binário) ou QPSK (PSK em Quadratura), o que resulta em uma taxa de transferência de dados de 1 ou 2 Mbps, conforme mostra a Figura 6.16.

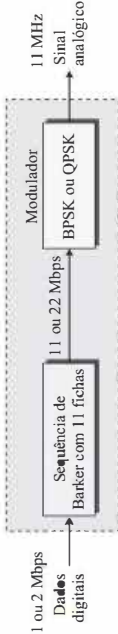


Figura 6.16 Camada física do IEEE 802.11 DSSS.

IEEE 802.11 Infravermelho

O IEEE 802.11 Infravermelho utiliza luz infravermelha na faixa de 800 a 950 nm. A técnica de modulação é denominada **Modulação por Posição de Pulso** (PPM – Pulse Position Modulation). Para uma taxa de transferência de dados de 1 Mbps, uma sequência de 4 *bits* é primeiramente mapeada em uma sequência de 16 *bits* na qual apenas um *bit* vale 1 e os *bits* restantes são fixados em 0. Para uma taxa de transferência de dados de 2 Mbps, uma sequência de 2 *bits* é primeiramente mapeada em uma sequência de 4 *bits* na qual apenas um *bit* vale 1 e os *bits* restantes são fixados em 0. As sequências mapeadas são, então, convertidas em sinais ópticos; a presença de luz significa um *bit* 1, enquanto a ausência de luz significa 0. Ver Figura 6.17.

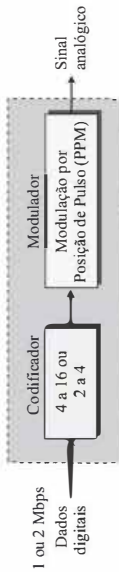


Figura 6.17 Camada física do IEEE 802.11 infravermelho.

IEEE 802.11a OFDM

O IEEE 802.11a OFDM descreve o método **Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais** (OFDM – Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) para a geração de sinais em uma banda ISM de 5 725–5 850 GHz. O OFDM é semelhante ao FDM, discutido no Capítulo 7, com uma diferença principal: todas as sub-bandas são utilizadas por um emissor em um dado instante. Os emissores disputam uns com os outros pelo acesso à camada de dados. A banda é dividida em 52 sub-bandas, com 48 sub-bandas para enviar 48 grupos de *bits* de cada vez e quatro sub-bandas para informações de controle. A divisão da banda em sub-bandas reduz os efeitos de interferências. Se as sub-bandas forem utilizadas de forma aleatória, pode-se também obter maior segurança. O OFDM usa a técnica de PSK ou de Modulação por Amplitude em Quadratura (QAM – Quadrature Amplitude Modulation) para a modulação. As taxas de transferência de dados mais comuns são 18 Mbps (PSK) e 54 Mbps (QAM).

IEEE 802.11b DSSS

O IEEE 802.11b DSSS descreve o método **Espalhamento Espectral por Sequência Direta de Alta Taxa** (HR-DSSS – High-Rate Direct-Sequence Spread Spectrum) para a geração de sinais na banda ISM de 2 400–4 835 GHz. O HR-DSSS é semelhante ao DSSS, exceto pelo método de codificação, conhecido como Chaveamento de Código Complementar (CCK – Complementary Code Keying). O CCK codifica 4 ou 8 *bits* em um símbolo CCK. Para ser retrocompatível com o DSSS, o HR-DSSS especifica quatro taxas de transferência de dados: 1 Mbps, 2 Mbps, 5,5 Mbps e 11 Mbps. As duas primeiras utilizam as mesmas técnicas de modulação que o DSSS. A versão de 5,5 Mbps usa BPSK e transmite dados a 1,375 Mbaud/s com codificação CCK de 4 *bits*. A versão de 11 Mbps usa o QPSK e transmite dados a 1,375 Mbps com codificação CCK de 8 *bits*. A Figura 6.18 ilustra a técnica de modulação desse padrão.

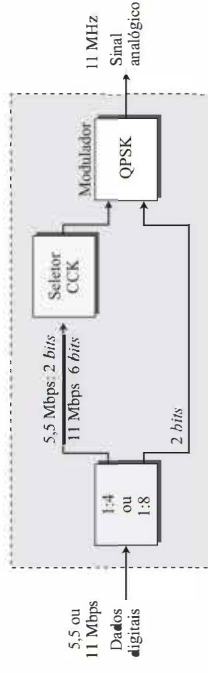


Figura 6.18 Camada física do IEEE 802.11b.

IEEE 802.11g

Essa nova especificação aplica técnicas de Correção Antecipada de Erros (FEC – Forward Error Correction) e OFDM, usando a banda ISM de 2 400–4 835 GHz. A técnica de modulação atinge uma taxa de transferência de dados de 22 ou 54 Mbps. Ela possui compatibilidade com a 802.11b, mas a técnica de modulação usada é o OFDM.

IEEE 802.11n

Uma evolução do projeto 802.11 é o chamado 802.11n (a nova geração de LANs sem fio). O objetivo dessa especificação é aumentar a vazão de LANs sem fio 802.11. O novo padrão tem como foco não apenas a maior taxa de *bits*, mas também elimina alguns elementos desnecessários. O padrão utiliza uma técnica conhecida como **Múltiplas Entradas e Múltiplas Saídas** (MIMO –

Multiple-Input Multiple-Output) para superar o problema de ruído em LANs sem fio. A ideia é que se pudermos enviar múltiplos sinais de saída e receber múltiplos sinais de entrada, conseguiremos eliminar o ruído mais facilmente. Algumas implementações desse projeto podem atingir uma taxa de transferência de dados de até 600 Mbps.

6.1.3 Bluetooth

O **Bluetooth** é uma tecnologia de LAN sem fio projetada para conectar dispositivos de diferentes funções, como telefones, *notebooks*, computadores (*desktops* e *laptops*), câmeras, impressoras e até mesmo máquinas de café, quando eles estiverem a uma pequena distância uns dos outros. Uma LAN Bluetooth é uma rede *ad hoc*, o que significa que a rede é formada espontaneamente; os dispositivos, também conhecidos como *gateways*, localizam uns aos outros e formam uma rede denominada *piconet*. Uma LAN Bluetooth pode também ser conectada à Internet se um dos dispositivos tiver capacidade para tal. Uma LAN Bluetooth, por natureza, não pode ser grande. Se houver muitos dispositivos tentando se conectar, o resultado é caótico.

A tecnologia Bluetooth tem diversas aplicações. Dispositivos periféricos, como um mouse ou teclado sem fio, podem se comunicar com o computador usando essa tecnologia. Dispositivos de monitoramento podem se comunicar com dispositivos sensores em um pequeno centro médico. Os de segurança doméstica podem usar essa tecnologia para conectar diferentes sensores ao controlador central de segurança. Os participantes de uma conferência podem sincronizar seus computadores portáteis durante a conferência.

O Bluetooth foi originalmente criado como um projeto da companhia Ericsson. Ele foi nomeado em homenagem a Harald Blaatand, o rei da Dinamarca (940–981) que unificou a Dinamarca e a Noruega. *Blaatand* se traduz como Bluetooth^{*,**} em inglês.

Atualmente, a tecnologia Bluetooth corresponde à implementação de um protocolo definido pelo padrão IEEE 802.15. Esse padrão define uma Rede Pessoal (PAN – Personal Area Network) sem fio, operável em uma área do tamanho de um quarto ou de uma sala.

Arquitetura

O Bluetooth especifica dois tipos de redes: *piconet* e *scatternet*.

Piconets

Uma rede Bluetooth é denominada uma *piconet*, termo que pode ser entendido como “rede minúscula”. Uma *piconet* pode ter até oito estações, uma das quais é conhecida como *primária*, as estações restantes são *secundárias*. Todas as estações secundárias sincronizam seus relógios e sua sequência de saltos com a estação primária. Perceba que uma *piconet* pode ter apenas uma estação primária. A comunicação entre as estações primária e secundárias pode ser um para um ou um para muitos. A Figura 6.19 mostra uma *piconet*.

Embora uma *piconet* possa ter um máximo de sete estações secundárias, estações secundárias adicionais podem estar no *estado inativo*, também conhecido como *estado estacionário*. Uma estação secundária no estado inativo está sincronizada com a estação primária, porém ela não pode participar da comunicação até que saia do estado inativo e vá para o estado ativo. Como apenas oito estações podem estar ativas em uma *piconet*, ativar uma estação que esteja no estado inativo pode fazer com que uma estação ativa vá para o estado inativo.

* N. de T.: O MIMO normalmente é obtido empregando-se múltiplas antenas em cada um dos equipamentos.

** N. de T.: Literalmente, a palavra Bluetooth pode ser traduzida como “dente azul” em português.

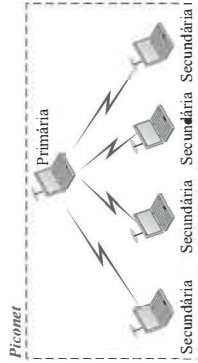


Figura 6.19 Piconet

Scatternet

As *piconets* podem ser combinadas para formar um tipo de rede denominado *scatternet*, termo que pode ser entendido como “rede espalhada”. Uma estação secundária em uma *piconet* pode ser a estação primária de outra *piconet*. Essa estação pode receber mensagens provenientes da estação primária da primeira *piconet* (atuando como uma estação secundária) e, atuando como uma estação primária, entregá-las às estações secundárias na segunda *piconet*. Uma estação pode participar de duas *piconets*. A Figura 6.20 ilustra uma *scatternet*.

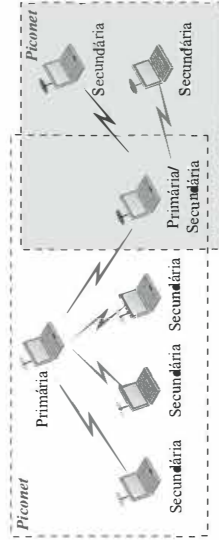


Figura 6.20 Scatternet

Dispositivos Bluetooth

Um dispositivo Bluetooth tem embutido um transmissor de rádio de curto alcance. A taxa de transferência de dados da versão 1 do protocolo* é de 1 Mbps, com uma largura de banda de 2,4 GHz. Isto significa que é possível haver interferências entre LANs sem fio usando o padrão IEEE 802.11b e LANs Bluetooth.

Camadas Bluetooth

O Bluetooth usa diversas camadas que não coincidem exatamente com as do modelo de Internet que definimos neste livro. A Figura 6.21 mostra essas camadas.

L2CAP

O **Protocolo de Adaptação e Controle de Enlace Lógico** (L2CAP – Logical Link Control and Adaptation Protocol, onde L2 significa LL), é aproximadamente equivalente à subcamada LLC em

* N. de T.: O Bluetooth encontra-se atualmente na versão 4.0 e pode atingir taxas de transferência de até 24Mbps.

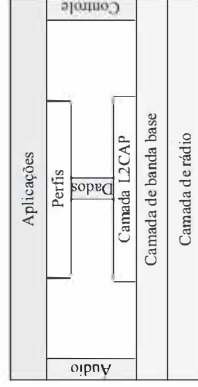


Figura 6.21 Camadas Bluetooth.



Figura 6.22 Formato do pacote de dados L2CAP.

redes locais. Ele é usado para a troca de dados em um canal ACL (*Asynchronous Connectionless Link*, ou Enlace Assíncrono Sem Conexão); canais SCO (*Synchronous Connection-Oriented*, ou Síncrono Orientado à Conexão) não usam o L2CAP. A Figura 6.22 mostra o formato do pacote de dados nesse nível.

O campo de comprimento, de 16 bits, especifica o tamanho dos dados, em bytes, proveniente das camadas superiores. Os dados podem ser compostos por até 65.535 bytes. O identificador do canal (CID – channel ID) é um identificador único para o canal virtual criado nesse nível (ver a seguir).

O L2CAP desempenha tarefas específicas: multiplexação, segmentação e remontagem, qualidade de serviço (QoS) e gerenciamento de grupo.

Multiplexação O L2CAP pode fazer multiplexação. No lado do emissor, o L2CAP recebe os dados provenientes de um dos protocolos de camada superior, os enquadra e entrega o resultado à camada de banda base. No lado do receptor, o L2CAP recebe um quadro da camada de banda base, extrai os dados e os entrega ao protocolo apropriado da camada superior. Isto cria uma espécie de canal virtual que discutiremos em capítulos posteriores para protocolos de mais alto nível.

Segmentação e remontagem O tamanho máximo do campo de carga útil na camada de banda base é 2.774 bits, ou 343 bytes. Isto inclui 4 bytes que delimitam o pacote e definem o tamanho do pacote. Logo, o tamanho do pacote proveniente de uma camada superior pode ser no máximo 339 bytes. No entanto, as camadas de aplicação algumas vezes precisam enviar um pacote de dados que pode ter até 65.535 bytes (um pacote vindo da Internet, por exemplo). O L2CAP divide esses pacotes grandes em segmentos e adiciona informações extras para especificar a localização dos segmentos no pacote original. O L2CAP segmenta o pacote na origem e o remonta no destino.

QoS O Bluetooth permite que as estações especifiquem um nível de qualidade de serviço. Discutiremos qualidade de serviço no Capítulo 8. Por ora, é suficiente saber que, se um nível de qualidade de serviço não for definido, o Bluetooth entrega por padrão o chamado *serviço de melhor esforço*; ele dará o melhor de si de acordo com as circunstâncias.

Gerenciamento de grupo Outra funcionalidade do L2CAP é permitir que os dispositivos criem um tipo de endereçamento lógico entre eles. Isto é similar à transmissão *multicast*. Por exemplo, dois ou três dispositivos secundários podem fazer parte de um grupo *multicast* para receber dados provenientes do dispositivo primário.

Canal de banda base

A camada de banda base é aproximadamente equivalente à subcamada MAC em redes locais. O método de acesso é o TDMA (discutido mais tarde). As estações primária e secundárias comunicam-se umas com as outras usando parcelas discretas (*slots*) de tempo. O comprimento de uma parcela de tempo é exatamente igual ao tempo de permanência em uma frequência antes de um salto, que é de 625 μ s. Isto significa que, durante o tempo em que uma frequência é usada, uma estação primária envia um quadro a uma secundária ou uma estação secundária envia um quadro a uma primária. Perceba que a comunicação se dá apenas entre uma estação primária e uma estação secundária; estações secundárias não podem se comunicar diretamente.

TDMA O Bluetooth utiliza uma forma de TDMA denominada **TDMA com Duplexação por Divisão de Tempo** (TDD-TDMA – Time-Division Duplex TDMA). O TDD-TDMA é uma espécie de comunicação *half-duplex* na qual o emissor e o receptor enviam e recebem dados, porém não ao mesmo tempo (*half-duplex*); no entanto, a comunicação em cada direção utiliza seqüências de salto diferentes. Isto é semelhante ao que acontece com *walkie-talkies*, que usam diferentes frequências portadoras.

- **Comunicação com uma única estação secundária.** Se a *piconet* tiver apenas uma estação secundária, a operação do TDMA é muito simples. O tempo é dividido em parcelas discretas de 625 μ s. A estação primária usa as parcelas de numeração par (0, 2, 4, ...); já a estação secundária usa as parcelas ímpares (1, 3, 5, ...). O TDD-TDMA permite que as estações primária e secundária se comuniquem no modo *half-duplex*. Na parcela 0, a estação primária envia dados e a secundária os recebe; na parcela 1, a estação secundária envia dados e a primária os recebe. O ciclo é então repetido. A Figura 6.23 ilustra esse conceito.

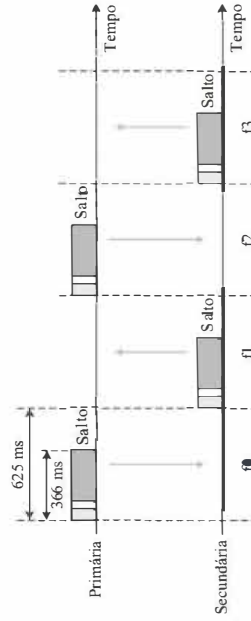


Figura 6.23 Comunicação com uma única estação secundária.

- **Comunicação com múltiplas estações secundárias.** O processo é um pouco mais complicado se houver mais do que uma estação secundária na *piconet*. Novamente, a estação primária usa as parcelas de tempo pares, porém uma estação secundária envia dados na próxima parcela de tempo ímpar se o pacote na parcela de tempo anterior foi endereçado àquela estação. Todas as estações secundárias verificam o meio em parcelas de tempo pares, mas apenas uma delas envia dados na parcela de tempo ímpar seguinte. A Figura 6.24 ilustra tal cenário.

Discutiremos essa figura em mais detalhes.

1. Na parcela de tempo 0, a estação primária envia um quadro para a estação secundária 1.

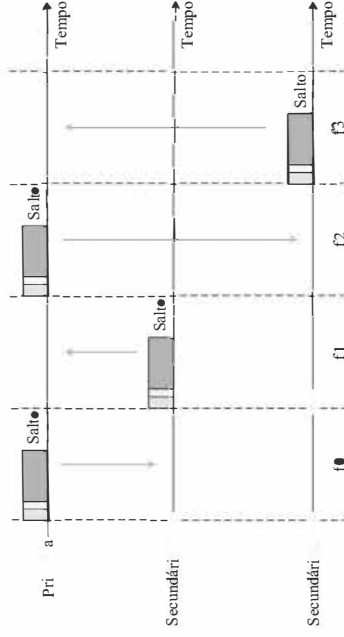


Figura 6.24 Comunicação com múltiplas estações secundárias.

2. Na parcela de tempo 1, apenas a estação secundária 1 envia um quadro para a estação primária porque o quadro anterior foi endereçado à estação secundária 1; as outras estações secundárias ficam em silêncio.
3. Na parcela de tempo 2, a estação primária envia um quadro para a estação secundária 2.
4. Na parcela de tempo 3, apenas a estação secundária 2 envia um quadro para a estação primária porque o quadro anterior foi endereçado à estação secundária 2; as outras estações secundárias ficam em silêncio.
5. O ciclo continua.

Podemos dizer que esse método de acesso é semelhante a uma operação de varredura/seleção com reservas. Quando a estação primária seleciona uma estação secundária, ela também verifica se esta tem algo para enviar. A próxima parcela de tempo é reservada para que aquela estação envie seu quadro. Se a estação secundária não tiver quadros para enviar, o canal permanece em silêncio. Canais Existem dois tipos de canais que podem ser criados entre uma estação primária e uma secundária: canais SCO e ACL.

- Um canal SCO (*Synchronous Connection-Oriented*, ou **Síncrono Orientado à Conexão**) é usado quando evitar a latência (atraso na entrega dos dados) é mais importante do que preservar a integridade dos dados (realizar a entrega livre de erros). Em um canal SCO, uma ligação física é criada entre as estações primária e secundária por meio da reserva de parcelas de tempo específicas em intervalos regulares. A unidade básica da conexão são duas parcelas, uma em cada direção. Se um pacote for corrompido, ele nunca é retransmitido. O canal SCO é usado para áudio em tempo real, cenário no qual evitar atrasos é muito importante. Uma estação secundária pode criar até três canais SCO com a estação primária, enviando áudio digitalizado (PCM) a 64 kbps em cada canal.
- Um canal ACL (*Asynchronous Connectionless Link*, ou **Enlace Assíncrono Sem Conexão**) é usado quando a integridade dos dados é mais importante do que evitar latência. Nesse tipo de canal, se uma carga útil encapsulada no quadro for corrompida, ela é retransmitida. Uma estação secundária retorna um quadro ACL na parcela de tempo ímpar disponível se a parcela de tempo anterior tiver sido endereçada àquela estação. O canal ACL pode usar um, três, ou mais parcelas de tempo, podendo alcançar uma taxa de transferência de dados máxima de 721 kbps.

Formato dos quadros Um quadro na camada de banda base pode ser de um dos seguintes três tipos: uma parcela, três parcelas ou cinco parcelas. Uma parcela de tempo, conforme discutido anteriormente, corresponde a 625 μ s. Entretanto, em uma transferência de dados usando uma parcela de tempo, são necessários 259 μ s para mecanismos de salto e de controle. Isto significa que a duração de uma parcela de tempo é de apenas 625 – 259, ou 366 μ s. Com uma largura de banda de 1 MHz e 1 bit/Hz, o tamanho de um quadro, nesse caso, fica sendo de 366 bits.

Um quadro de três parcelas ocupa três parcelas de tempo. Entretanto, como 259 μ s são usados para saltos, o tamanho do quadro é de $3 \times 625 - 259 = 1.616 \mu$ s ou 1.616 bits. Um dispositivo que usa quadros de três parcelas permanece no mesmo salto (na mesma frequência portadora) durante três parcelas de tempo. Embora apenas um número de salto seja usado, três números de salto são consumidos. Isto significa que o número de salto de cada quadro é igual àquele presente na primeira parcela de tempo ocupada pelo quadro.

Um quadro de cinco parcelas também usa 259 bits para saltos, o que significa que o tamanho do quadro é de $5 \times 625 - 259 = 2.866$ bits.

A Figura 6.25 mostra o formato dos três tipos de quadros discutidos anteriormente.

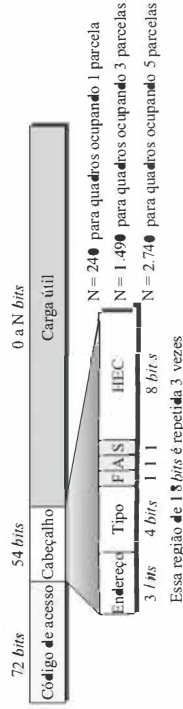


Figura 6.25 Tipos de formato de quadro.

Cada um dos campos listados na figura anterior é descrito a seguir:

- **Código de acesso.** Campo de 72 bits que normalmente contém bits de sincronização e o identificador da estação primária para que seja possível distinguir entre os quadros de diferentes piconets.
- **Cabeçalho.** Campo de 54 bits que é uma sequência de 18 bits repetidos três vezes. Cada sequência apresenta os seguintes subcampos:
 - a. **Endereço.** O subcampo de endereço, composto por 3 bits, pode identificar até sete estações secundárias (1 a 7). O endereço de valor zero é usado para a comunicação via *broadcast*, da estação primária para todas as secundárias.
 - b. **Tipo.** O subcampo de tipo, composto por 4 bits, especifica o tipo de dados provenientes das camadas superiores. Discutimos esses tipos mais adiante.
 - c. **F.** Subcampo de 1 bit, usado para controle de fluxo. Quando ele vale 1, indica que o dispositivo não é capaz de receber mais quadros (o *buffer* está cheio).
 - d. **A.** Subcampo de 1 bit, usado para confirmação de recebimento. O Bluetooth usa o método ARQ Stop-and-Wait, de modo que um único bit já é suficiente para enviar a confirmação.
 - e. **S.** Subcampo de 1 bit, que contém um número de sequência. O Bluetooth usa o ARQ Stop-and-Wait, de modo que um único bit já é suficiente para numerar a sequência de quadros.
 - f. **HEC.** O subcampo de Correção de Erros do Cabeçalho (HEC – Header Error Correction), de 8 bits, é uma soma de verificação que permite detectar erros em

cada seção de 18 bits do cabeçalho. O cabeçalho tem três seções idênticas de 18 bits. O receptor compara essas três seções, bit a bit. Se os bits nas posições correspondentes forem todos iguais, o bit é aceito; caso contrário, é aplicada a regra da maioria. Essa é uma forma de correção antecipada de erros (para o cabeçalho apenas). O controle duplo de erros é necessário porque a natureza da comunicação, através do ar, apresenta muito ruído. Perceba que não há retransmissão nessa subcamada.

- **Carga útil.** Subcampo que pode ter de 0 a 2.740 bits de comprimento. Ele contém dados ou informações de controle provenientes das camadas superiores.

Camada de rádio

A camada de rádio é aproximadamente equivalente à camada física do modelo Internet. Os dispositivos Bluetooth são equipamentos de baixa potência e têm um alcance de 10 m*.

Banda O Bluetooth utiliza a banda ISM de 2,4 GHz, que é dividida em 79 canais de 1 MHz cada. FHSS O Bluetooth usa o método Espalhamento Espectral por Saltos em Frequências (FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum) na camada física para evitar a interferência de outros dispositivos ou de outras redes. O Bluetooth realiza 1.600 saltos por segundo, o que significa que cada dispositivo troca sua frequência de modulação 1.600 vezes por segundo. Um dispositivo usa uma frequência de apenas 625 μ s (1/1.600 s) antes de saltar para outra; o tempo de permanência em cada frequência é de 625 μ s.

Modulação Para transformar os bits em um sinal, o Bluetooth utiliza uma versão sofisticada do FSK, denominada GFSK (FSK com filtragem Gaussiana de banda; uma discussão sobre esse tema está fora do escopo deste livro). O GFSK tem uma frequência portadora. O bit 1 é representado por um aumento na frequência, que fica acima da portadora; o bit 0 é representado por uma redução na frequência, que fica abaixo da portadora. As frequências, em mega-hertz, são definidas de acordo com a seguinte fórmula para cada canal.

$$f_c = 2.402 + n \text{ MHz} \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots, 78$$

Por exemplo, o primeiro canal utiliza uma frequência portadora de 2.402 MHz (2,402 GHz) e o segundo, de 2,403 MHz (2,403 GHz).

6.1.4 WiMAX

O **Interoperabilidade Mundial para Acesso por Micro-ondas** (WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access) é um padrão IEEE 802.16 (para redes sem fio fixas) e 802.16e (para redes sem fio móveis) que tem como objetivo fornecer a “última milha” do acesso de banda larga sem fio, oferecendo uma alternativa ao serviço de telefonia DSL via modem a cabo. O WiMAX oferece cobertura e vazão ótimas para assinantes em linha de visada (LOS – line-of-sight), ou seja, para os quais o caminho não esteja obstruído. Ele também oferece cobertura e vazão aceitáveis para assinantes que estejam próximos à estação-base ou sem linha de visada (NLOS – non-line-of-sight) em relação a ela.

Muitos usuários comparam o WiMAX ao WiFi. O WiMAX, assim como o WiFi, apresenta uma infraestrutura com uma estação de base, porém oferece muito mais do que o WiFi. Enquanto o WiFi só cobre uma região de cerca de 100 metros, o WiMAX tem um alcance de seis quilômetros. O WiMAX oferece substancialmente mais segurança, confiabilidade, qualidade de serviço e vazão do que o WiFi.

* N. de T.: As novas versões do Bluetooth especificam classes de potência onde são definidos dispositivos com alcance de até 100 metros.

Arquitetura

Discutimos brevemente a arquitetura do WiMAX nesta seção.

Estação-base

As unidades básicas de uma estação-base WiMAX são um rádio e uma antena. Cada rádio WiMAX tem tanto um transmissor quanto um receptor e transmite sinais com uma frequência entre 2 e 11 GHz. O WiMAX usa um sistema de Rádio Definido por *Software* (SDR – Software Defined Radio).

Três diferentes tipos de antenas (omnidirecional, setorial e panel) são usados no WiMAX para melhorar o desempenho de uma dada aplicação. O WiMAX usa um **Sistema de Antenas Adaptativas** (AAS – Adaptive Antenna System) com direcionamento do feixe de comunicação. Durante a transmissão, uma antena AAS pode focalizar sua energia de transmissão na direção de um receptor; durante a recepção, ela pode mover seu foco na direção do dispositivo emissor.

Outras medidas tomadas pelo WiMAX para evitar a interferência são a aplicação de OFDMA e de um sistema de antenas MIMO. O OFDMA é um método de acesso múltiplo que permite transmissões simultâneas de e para diversos usuários, funcionando bem em conjunto com AAS e MIMO para melhorar significativamente a vazão, aumentar o alcance e reduzir interferências.

Estações de assinantes

O **Equipamento nas Instalações do Cliente** (CPE – Customer Premises Equipment), também conhecido como *unidade do assinante* ou *equipamento terminal*, é disponibilizado em duas versões, para ambientes internos ou externos. A unidade interna tem o tamanho de um modem DSL ou a cabo. Ela pode ser instalada pelo cliente, porém requer que o assinante esteja mais perto de uma estação base devido às perdas da transmissão via rádio. A versão externa é do tamanho de uma antena parabólica residencial e deve ser instalada por um profissional.

Unidade portátil

Devido ao potencial do WiMAX móvel, há um foco crescente em unidades portáteis, que incluem aparelhos celulares, periféricos para PC, dispositivos embarcados em laptops e dispositivos eletrônicos (como consoles de videogame, leitores de MP3 e similares).

Camada de enlace de dados

A subcamada MAC no Wi-Fi utiliza acesso com contenção. Isto pode fazer com que estações de assinantes distantes do AP sejam repetidamente interrompidas por estações mais próximas. A subcamada MAC no WiMAX usa um algoritmo de escalonamento. A estação do assinante deve competir com outras estações uma única vez, quando ela entra na rede. Uma parcela de tempo de acesso é então atribuída àquela estação de assinante.

Camada física

O 802.16e-2005 especifica o uso da faixa de 2 a 11 GHz. **OFDMA Escalável** (SOFDMA – Scalable OFDMA), uso de antenas MIMO e suporte total à mobilidade.

Aplicação

O WiMAX tem como objetivo prover alternativas economicamente viáveis a diversas infraestruturas de telecomunicação existentes, incluindo as redes de fio de cobre e celulares das empresas de telefonia e a infraestrutura de cabo coaxial das empresas de TV a cabo.

6.2 OUTRAS REDES SEM FIO

Nesta seção, nos concentraremos em outras redes sem fio. Começamos discutindo a telefonia celular, que é uma tecnologia ubíqua (onipresente). Em seguida, cobrimos redes de satélites. Antes de discutirmos as redes sem fio citadas anteriormente, entretanto, abordaremos um método de acesso apenas mencionado no Capítulo 5, mas cuja descrição foi adiada para este: o método de canalização, usado em redes celulares e outras redes sem fio.

6.2.1 Canalização

A **canalização** (ou *partição de canal*, como também é conhecida) é um método de acesso múltiplo no qual a largura de banda disponível em um canal é compartilhada no tempo, na frequência ou por meio de um código, entre as diferentes estações. Nesta seção, discutimos três protocolos de canalização: FDMA, TDMA e CDMA.

Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência

No **Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência** (FDMA – Frequency-Division Multiple Access), a largura de banda disponível é dividida em faixas de frequência. Cada estação tem uma banda a ela atribuída para enviar seus dados. Em outras palavras, cada banda é reservada para uma estação específica e ela pertence àquela estação o tempo todo. Cada estação também usa um filtro passa-faixa para limitar as frequências de transmissão. Para evitar interferências entre as estações, as bandas atribuídas são separadas umas das outras por *bandas de guarda* de pequenas dimensões. A Figura 6.26 ilustra a ideia do FDMA.

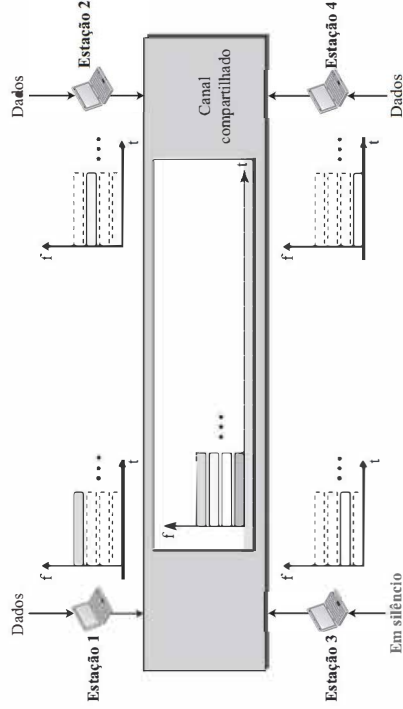


Figura 6.26 Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência (FDMA).

O FDMA especifica uma banda de frequência predeterminada por toda a duração da comunicação. Isto significa que um fluxo de dados (um fluxo contínuo de dados que não pode ser empacotado) pode ser facilmente transmitido com o FDMA. Veremos mais adiante como esse recurso pode ser utilizado em sistemas de telefonia celular.

Precisamos enfatizar que o FDMA é um protocolo da camada de enlace; ele não deve ser confundido com um processo de multiplexação como a Multiplexação por Divisão de Frequência (FDM – Frequency-Division Multiplexing), que discutimos no Capítulo 7. A FDM é, na realidade, a implementação do FDMA na camada física.

Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo

No **Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo** (TDMA – Time-Division Multiple Access), as estações compartilham a largura de banda do canal ao longo do tempo. Cada estação tem uma banda a ela atribuída para enviar seus dados. A cada estação é atribuído um intervalo de tempo durante o qual ela pode enviar dados. Cada estação transmite os dados na parcela de tempo a ela atribuída. A Figura 6.27 mostra a ideia por trás do TDMA.

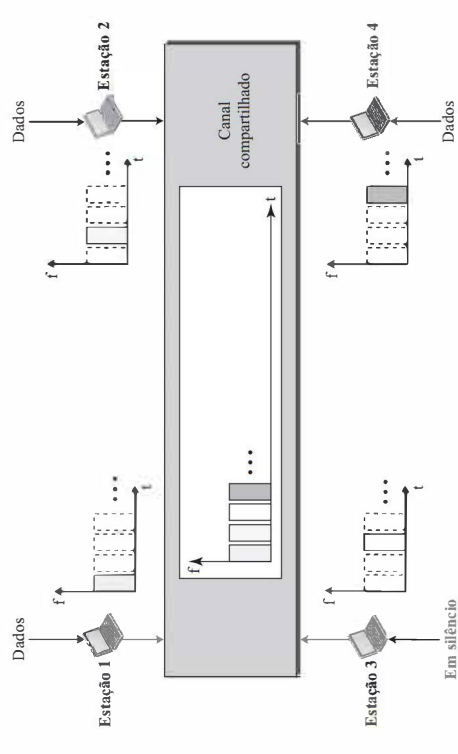


Figura 6.27 Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo (TDMA).

O principal problema do TDMA refere-se à necessidade de sincronização entre as diferentes estações. Cada estação precisa saber quando sua parcela de tempo inicia e qual a localização dela. Isto pode ser difícil se as estações estiverem espalhadas em uma grande área, devido a atrasos de propagação introduzidos no sistema. Para compensar os atrasos, podemos inserir **tempos de guarda**. A sincronização é normalmente obtida usando alguns *bits* de sincronização (normalmente denominados *bits* de préambulo) no início de cada parcela de tempo.

Precisamos também enfatizar que, embora o TDMA e a Multiplexação por Divisão de Tempo (TDM – Time-Division Multiplexing) pareçam conceitualmente iguais, existem diferenças entre eles. A TDM, conforme discutido no Capítulo 7, é uma técnica da camada física que combina os dados provenientes de canais mais lentos e os transmite usando um canal mais rápido. O processo utiliza um multiplexador físico que intercala unidades de dados de cada canal.

O TDMA, por outro lado, é um método de acesso da camada de enlace de dados, que, em cada estação, pede à sua camada física que ela use a parcela de tempo alocada àquela estação. Não há um multiplexador físico na camada de enlace de dados.

Acesso Múltiplo por Divisão de Código

O **Acesso Múltiplo por Divisão de Código** (CDMA – Code-Division Multiple Access) foi concebido há várias décadas. Porém, foram os avanços recentes na tecnologia eletrônica que finalmente tornaram sua implementação possível. O CDMA difere do FDMA porque um único canal ocupa toda a largura de banda do enlace. Ele difere do TDMA porque todas as estações podem enviar dados simultaneamente; não há compartilhamento de tempo.

Analogia

Primeiramente, faremos uma analogia. O CDMA significa simplesmente uma comunicação com diferentes códigos. Por exemplo, em uma grande sala com diversas pessoas, duas podem falar em inglês se nenhuma outra pessoa na sala entender inglês. Outras duas podem falar em chinês e elas sejam as únicas a entender chinês, e assim por diante. Em outras palavras, o canal compartilhado, que nesse caso é o espaço da sala, pode facilmente permitir a comunicação entre diversos pares de interlocutores se ela for feita usando diferentes idiomas (códigos).

Ideia

Consideremos que existam quatro estações, 1, 2, 3 e 4, conectadas ao mesmo canal. Os dados da estação 1 são denotados d_1 , os da estação 2 são denotados d_2 , e assim por diante. O código atribuído à primeira estação é c_1 , à segunda estação é c_2 , e assim por diante. Consideramos que os códigos atribuídos apresentam duas propriedades.

1. Se multiplicarmos cada código por outro, o resultado é 0.
2. Se multiplicarmos cada código por ele mesmo, o resultado é 4 (o número de estações).

Com essas duas propriedades em mente, vejamos como as quatro estações mencionadas anteriormente podem enviar dados usando o mesmo canal compartilhado, conforme mostra a Figura 6.28.

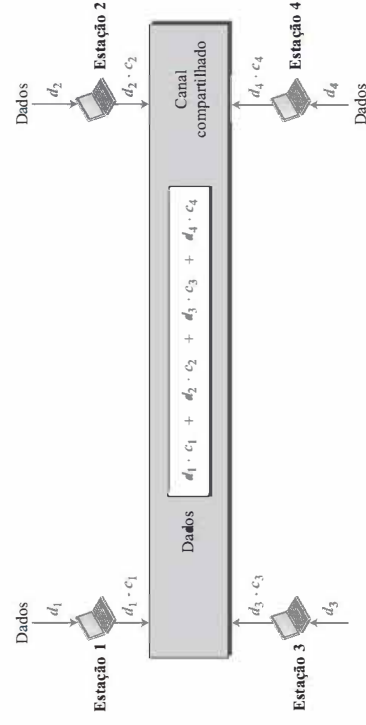


Figura 6.28 Ideia simples da comunicação com códigos.

A estação 1 multiplica (um tipo especial de multiplicação, conforme veremos) seus dados pelo seu código para obter $d_1 \cdot c_1$. A estação 2 multiplica seus dados pelo seu código para obter $d_2 \cdot c_2$, e assim por diante. Os dados colocados no canal correspondem à soma de todos esses termos, conforme mostrado na caixa no centro da figura. Qualquer estação que queira receber dados provenientes

de uma das outras três estações multiplica os dados no canal pelo código do emissor. Por exemplo, considere que as estações 1 e 2 estejam se comunicando. A estação 2 quer receber os dados que a estação 1 está enviando. A estação 2 multiplica os dados no canal por c_1 , o código da estação 1.

Como o resultado de $(c_1 \cdot c_1)$ é 4, enquanto $(c_2 \cdot c_1)$, $(c_3 \cdot c_1)$ e $(c_4 \cdot c_1)$ resultam todos em 0s, a estação 2 divide o resultado por 4 para obter os dados provenientes da estação 1.

$$\begin{aligned} \text{dados} &= [(d_1 \cdot c_1 + d_2 \cdot c_2 + d_3 \cdot c_3 + d_4 \cdot c_4) \cdot c_1] / 4 \\ &= [d_1 \cdot c_1 \cdot c_1 + d_2 \cdot c_2 \cdot c_1 + d_3 \cdot c_3 \cdot c_1 + d_4 \cdot c_4 \cdot c_1] / 4 = (4 \cdot d_1) / 4 = d_1 \end{aligned}$$

Fichas

O CDMA se baseia na teoria de códigos. A cada estação é atribuído um código, que consiste em uma sequência de números conhecidos como fichas ou *chips*. A Figura 6.29 mostra as fichas para o exemplo anterior.



Figura 6.29 Sequências de fichas.

Ainda neste capítulo mostraremos como os códigos são selecionados. Por ora, precisamos saber que não escolhemos aleatoriamente as sequências; elas foram cuidadosamente selecionadas. São denominadas **sequências ortogonais** e apresentam as seguintes propriedades:

1. Cada sequência é composta por N elementos, onde N é o número de estações e precisa ser uma potência de 2.
2. Se multiplicarmos uma sequência por um número, todos os elementos da sequência são multiplicados por aquele número. Isto é chamado de multiplicação de uma sequência por um escalar. Por exemplo,

$$2 \cdot [+1 +1 -1 -1] = [+2 +2 -2 -2];$$

3. Se multiplicarmos duas sequências iguais, elemento por elemento, e somarmos os resultados, obtemos N , onde N é o número de elementos em cada sequência. Isto é chamado *produto interno* de duas sequências iguais. Por exemplo,

$$[+1 +1 -1 -1] \cdot [+1 +1 -1 -1] = 1 + 1 + 1 + 1 = 4.$$

4. Se multiplicarmos duas sequências distintas, elemento por elemento, e somarmos os resultados, obtemos 0. Isto é chamado *produto interno* de duas sequências distintas. Por exemplo,

$$[+1 +1 -1 -1] \cdot [+1 +1 +1 +1] = 1 + 1 - 1 - 1 = 0.$$

5. Somar duas sequências significa somar os elementos correspondentes. O resultado é outra sequência. Por exemplo,

$$[+1 +1 -1 -1] + [+1 +1 +1 +1] = [+2 +2 0 0].$$

Representação dos dados

Seguimos algumas regras para a codificação: se uma estação precisar enviar o *bit* 0, ela codifica esse *bit* como -1 ; se precisar enviar o *bit* 1, ela codifica esse *bit* como $+1$. Quando uma estação estiver ociosa, nenhum sinal é enviado por ela, o que é interpretado como um 0. Essas regras são mostradas na Figura 6.30.



Figura 6.30 Representação dos dados no CDMA.

Codificação e decodificação

Como um exemplo simples, mostramos como quatro estações compartilham o canal durante um intervalo de 1 *bit*. O procedimento pode ser facilmente repetido para intervalos adicionais. Consideramos que as estações 1 e 2 estão enviando um *bit* 0 e a estação 4 está enviando um *bit* 1. A estação 3 está em silêncio. Os dados no lado do emissor são traduzidos para -1 , -1 , 0 e $+1$. Cada estação multiplica o número correspondente pela sua ficha (a sua sequência ortogonal), que é única para cada estação. O resultado é uma nova sequência que é enviada ao canal. Por razões de simplicidade, consideramos que todas as estações enviam as sequências resultantes ao mesmo tempo. A sequência no canal é a soma de todas as quatro sequências, conforme definido anteriormente. A Figura 6.31 ilustra essa situação.

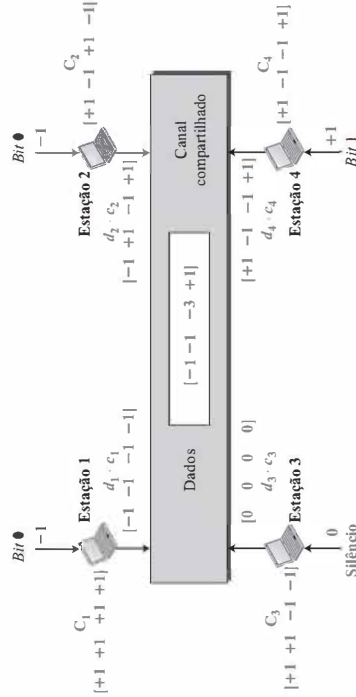


Figura 6.31 Compartilhando o canal no CDMA.

Agora, considere que a estação 3, que dissemos estar em silêncio, deseja recuperar os dados enviados pela estação 2. A estação 3 multiplica o total dos dados no canal pelo código da estação 2, que é $[+1 -1 +1 -1]$ para obter

$$\begin{aligned} [-1 -1 -3 +1] \cdot [+1 -1 +1 -1] &= -4 \\ -4/4 &= -1 \rightarrow \text{bit } 0. \end{aligned}$$

Nível do sinal

O processo pode ser melhor compreendido se mostrarmos o sinal digital produzido por cada estação e os dados recuperados no destino (ver Figura 6.32). A Figura mostra os sinais correspondentes a cada estação usando um sinal NRZ-L (ver Capítulo 7) e o sinal resultante no canal compartilhado.

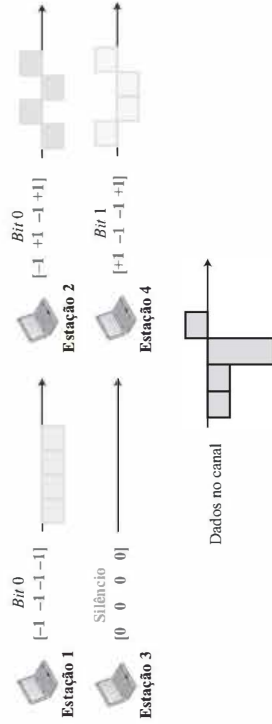


Figura 6.32 Sinal digital criado por quatro estações no CDMA.

A Figura 6.33 mostra como a estação 3 pode detectar os dados enviados pela estação 2 usando o código atribuído a esta. Os dados presentes no canal são multiplicados (operação de produto interno) pelo sinal que representa o código da estação 2 para obter um novo sinal. A estação, então, integra e soma a área sob o sinal, obtendo o valor -4 , que é dividido por 4 e interpretado como um bit 0.

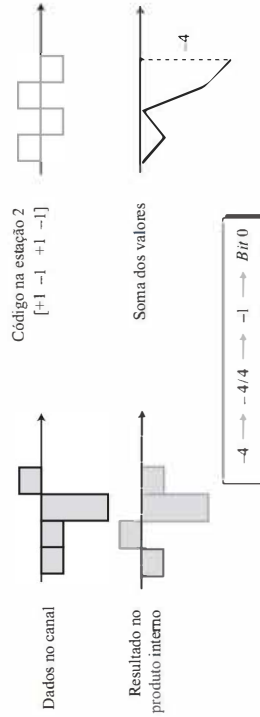


Figura 6.33 Decodificação do sinal composto no CDMA.

Geração da sequência

Para gerar sequências de fichas, usamos uma tabela de Walsh, uma tabela bidimensional com um número igual de linhas e colunas, conforme mostrado na Figura 6.34. Na tabela de Walsh, cada linha corresponde a uma sequência de *chips*. A tabela W_1 para uma sequência de um *chip* tem uma linha e uma coluna. Podemos escolher -1 ou $+1$ para a ficha nessa tabela trivial (escolhemos $+1$). Segundo Walsh, se conhecermos a tabela para N sequências, denotada W_N , podemos construir a tabela para $2N$ sequências, denotada W_{2N} , conforme mostra a Figura 6.34. Escrevemos W_N com uma barra sobre ela para representar o complemento de W_N no qual cada $+1$ é alterado para -1 e vice-

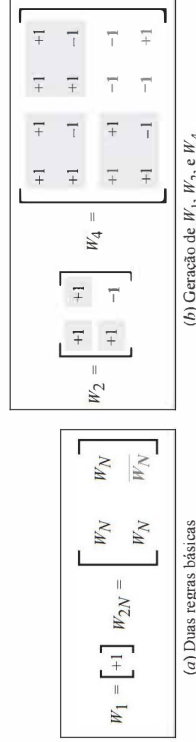


Figura 6.34 Regra geral e exemplos da criação de tabelas de Walsh.

-versa. A Figura 6.34 também mostra como podemos construir W_2 e W_4 a partir de W_1 . Depois de selecionarmos W_1 , W_2 pode ser construída a partir de quatro W_1 , sendo o último elemento o complemento de W_1 . Após gerar W_2 , podemos construir W_4 a partir de quatro W_2 , sendo o último elemento o complemento de W_2 . Obviamente, W_8 é composto por quatro W_4 e assim por diante. Perceba que, após a tabela W_N ser construída, é atribuído a cada estação uma ficha correspondente a uma linha. Algo que precisamos enfatizar é que o número de sequências N precisa ser uma potência de 2. Em outras palavras, precisamos ter $N = 2^m$.

Exemplo 6.1

Determine as fichas para uma rede com

- Duas estações
- Quatro estações

Solução

Podemos usar as linhas de W_2 e W_4 mostradas na Figura 6.34:

- Para uma rede com duas estações, temos $[+1 +1]$ e $[+1 -1]$.
- Para uma rede com quatro estações, temos $[+1 +1 +1 +1]$, $[+1 -1 +1 -1]$, $[+1 +1 -1 -1]$ e $[+1 -1 -1 +1]$.

Exemplo 6.2

Qual deve ser o número de sequências se tivermos 90 estações em nossa rede?

Solução

O número de sequências N precisa satisfazer $N = 2^m$. Precisamos escolher $m = 7$ e $N = 2^7$ ou 128. Podemos, então, usar 90 das sequências possíveis como fichas.

Exemplo 6.3

Mostre que uma estação receptora pode obter os dados enviados por um emissor específico se ela multiplicar todos os dados no canal pela ficha referente ao código do emissor e depois dividir o resultado pelo número de estações.

Solução

Mostraremos isto para a primeira estação, usando o nosso exemplo anterior de quatro estações. Podemos es-
cruver os dados do canal como $D = (d_1 \cdot c_1 + d_2 \cdot c_2 + d_3 \cdot c_3 + d_4 \cdot c_4)$. O receptor, que deseja obter os dados
enviados pela estação 1, multiplica esses dados por c_1 .

$$\begin{aligned}
 |D \cdot c_i| / 4 &= [d_1 \cdot c_1 + d_2 \cdot c_2 + d_3 \cdot c_3 + d_4 \cdot c_4] \cdot c_i / 4 \\
 &= [d_1 \cdot c_1 + d_2 \cdot c_2 + d_3 \cdot c_3 + d_4 \cdot c_4 + d_1 \cdot c_1 + d_2 \cdot c_2] / 4 \\
 &= [d_1 \cdot 4 + d_2 \cdot 4 + 0 + 0 + d_3 \cdot 0 + d_4 \cdot 0] / 4 = [d_1 \cdot 4] / 4 = d_1
 \end{aligned}$$

6.2.2 Telefonía celular

A telefonía celular foi projetada para fornecer comunicação entre duas unidades em movimento, denominadas *estações móveis* (EMs), ou entre uma unidade móvel e uma unidade estacionária, comumente denominada *estação terrestre*. Um provedor de serviços deve ser capaz de localizar e rastrear uma chamada, atribuir um canal para ela e transferir o canal de uma estação-base para outra à medida que uma estação móvel sai da área de cobertura da estação-base atual.

Para que o rastreamento seja possível, cada área do serviço de telefonía celular é dividida em pequenas regiões denominadas *células*. Cada célula contém uma antena e é controlada por uma estação alimentada por energia solar ou elétrica, denominada *estação-base* (EB). Cada estação-base, por sua vez, é controlada por uma unidade de comutação conhecida como **Central de Comutação Móvel** (MSC – Mobile Switching Center). A MSC coordena a comunicação entre todas as estações-base e a central telefônica*. Ela consiste em um centro informatizado responsável por conectar as chamadas, por gravar informações da chamada e pela tarifação (ver Figura 6.35).

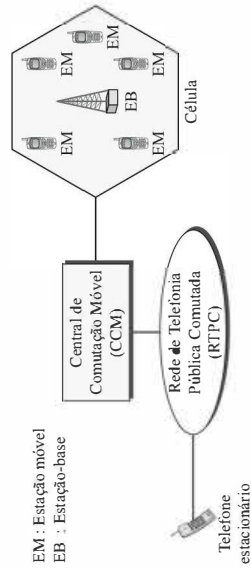


Figura 6.35 Sistema de telefonía celular

O tamanho da célula não é fixo e pode ser aumentado ou diminuído dependendo da população na área. O raio típico de uma célula é de 1 a 20 Km. Para atender a demanda por tráfego, áreas com alta densidade populacional exigem um número maior de células geograficamente menores do que áreas de baixa densidade. Uma vez determinado, o tamanho da célula é ajustado para evitar interferências de sinais provenientes das células adjacentes. A potência de transmissão de cada célula é mantida baixa para evitar que seu sinal interfira com os sinais de outras células.

Princípio do reuso de frequências

Em geral, células vizinhas não podem usar o mesmo conjunto de frequências para a comunicação porque podem ocorrer interferências para os usuários em locais próximos aos limites da célula. Entretanto, o conjunto de frequências disponíveis é limitado, de forma que elas devem ser reutilizadas. Um padrão de reuso de frequências consiste em uma configuração de N células, sendo N o **fator de**

* N de T.: A MSC também é responsável pela interligação da rede de telefonía celular com o sistema de telefonía tradicional, conhecido como Rede de Telefonía Pública Comutada (PSTN – Public Switched Telephone Network).

reuso, em que cada célula utiliza um conjunto único de frequências. Quando o padrão se repete, as frequências podem ser reutilizadas. Existem diversos padrões diferentes possíveis. A Figura 6.36 mostra dois deles.

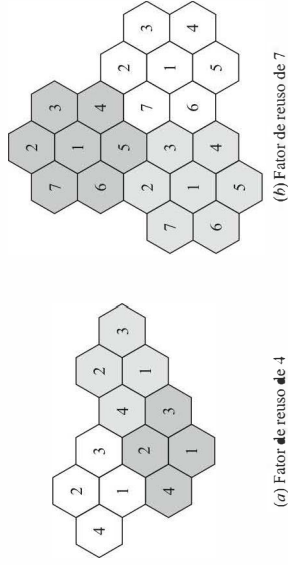


Figura 6.36 Padrão de reutilização de frequências.

Os números nas células definem o padrão. As células com o mesmo número em um padrão podem usar o mesmo conjunto de frequências. Chamamos essas células de *células de reuso*. Conforme mostra a Figura 6.36, em um padrão com um fator de reuso de 4, há apenas uma célula separando as células que usam o mesmo conjunto de frequências. Em um padrão com fator de reuso de 7, há duas células separando as células de reuso.

Transmissão

Para fazer uma chamada a partir de uma estação móvel, a pessoa que faz a chamada insere um código de 7 ou 10 dígitos (um número de telefone) e pressiona o botão de envio. A estação móvel, então, examina a banda, buscando um canal com um sinal suficientemente forte, e então envia os dados (número de telefone) para a estação-base mais próxima usando tal canal. A estação-base encaminha os dados para a MSC, que envia os dados para a central telefônica. Se o número chamado estiver disponível, uma conexão é criada e o resultado é encaminhado de volta para a MSC. Em seguida, a MSC atribui a esta chamada um canal de voz que não esteja sendo utilizado e uma conexão é estabelecida. A estação móvel ajusta automaticamente sua frequência para o novo canal e a comunicação pode começar.

Recepção

Quando um telefone móvel é chamado, a central telefônica envia o número para a MSC, que busca a localização da estação móvel correspondente, enviando sinais de consultas a cada célula em um processo conhecido como *paging*. Assim que a estação móvel é encontrada, a MSC transmite um sinal de campainha (o toque do telefone) e, quando a estação móvel responde, ela atribui um canal de voz para a chamada, permitindo que a comunicação de voz se inicie.

Transferência

É possível que, durante uma conversa, a estação móvel se mova de uma célula para outra. Quando isso acontece, o sinal pode ficar fraco. Para resolver esse problema, a MSC monitora o nível do sinal em intervalos de poucos segundos. Se a intensidade do sinal diminuir, a MSC procura uma nova célula que possa acomodar melhor a comunicação. A MSC muda então o canal transportando a chamada (transfere o sinal controlado pelo canal antigo para um novo canal).

Hard handoff Os sistemas de telefonia iniciais adotavam o chamado *hard handoff*, também conhecido como *transfêrência rígida*. Em um *hard handoff*, cada estação móvel se comunica com apenas uma estação-base a cada instante. Quando a EM se move de uma célula para outra, a comunicação com a estação-base anterior deve ser interrompida antes que a comunicação com a nova estação-base possa ser estabelecida. Isto pode criar uma transição abrupta.

Soft handoff Sistemas mais novos adotam o chamado *soft handoff*, ou *transfêrência suave*. Nesse caso, cada estação móvel pode se comunicar com duas estações-base ao mesmo tempo. Isto significa que, durante o processo de *handoff*, uma estação móvel pode se comunicar com a nova estação-base antes de interromper a comunicação com a antiga.

Roaming

Uma característica da telefonia celular é o chamado *roaming*, algumas vezes também denominado *itinerância*. *Roaming* significa, em princípio, que um usuário pode ter acesso à rede de comunicação ou pode ser chamado onde houver cobertura. Um provedor de serviços geralmente tem cobertura limitada. Provedores de serviços vizinhos podem fornecer uma cobertura estendida por meio de um contrato de *roaming*. A situação é semelhante ao correio tradicional entre países. A taxa de entrega de uma carta entre dois países pode ser dividida conforme combinado entre os dois países.

Primeira geração (1G)

A telefonia celular encontra-se atualmente em sua quarta geração. A primeira geração foi projetada para a comunicação de voz usando sinais analógicos. Discutimos um sistema de primeira geração móvel utilizado na América do Norte, o AMPS.

AMPS

O **Sistema Avançado de Telefonia Móvel** (AMPS – Advanced Mobile Phone System) é um dos principais sistemas de telefonia celular analógica na América do Norte. Ele usa FDMA (ver Capítulo 5) para separar os canais em uma conexão.

O AMPS é um sistema de telefonia celular analógica que usa FDMA.

Bandas O AMPS opera na banda ISM de 800 MHz. O sistema utiliza dois canais analógicos separados, um para a comunicação direta (estação-base para estação móvel) e outro para a comunicação reversa (estação móvel para estação-base). A banda entre 824 e 849 MHz transporta a comunicação reversa; a banda entre 869 e 894 MHz transporta a comunicação direta (ver Figura 6.37).

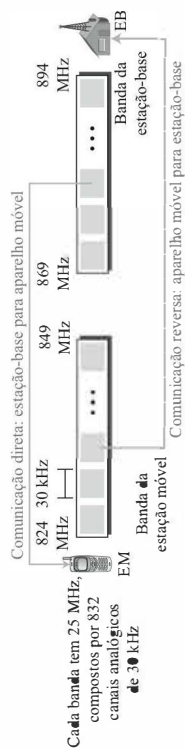


Figura 6.37 Bandas de telefonia celular no AMPS.

Cada banda é dividida em 832 canais. Entretanto, dois provedores podem compartilhar uma área, o que significa que cada provedor usa 416 canais de cada célula. Dos 416 canais, 21 são usados para controle, o que leva a 395 canais restantes. O AMPS tem um fator de reuso de frequências de 7, o que significa que apenas um sétimo desses 395 canais de tráfego ficam de fato disponíveis em uma célula.

Transmissão O AMPS usa FM e FSK para a modulação. A Figura 6.38 mostra a transmissão no sentido reverso. Canais de voz são modulados usando FM, enquanto canais de controle usam FSK para criar sinais analógicos de 30 kHz. O AMPS utiliza FDMA para dividir cada banda de 25 MHz em canais de 30 kHz.

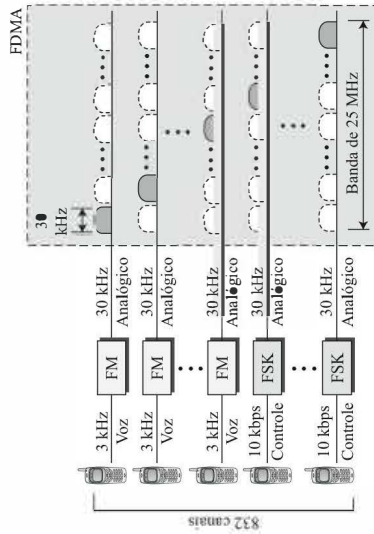


Figura 6.38 Banda de comunicação reversa do AMPS.

Segunda geração (2G)

A segunda geração da rede de telefonia celular foi desenvolvida para proporcionar maior qualidade (menor propensão a ruído) às comunicações móveis de voz. Enquanto a primeira geração foi projetada para comunicação de voz analógica, a segunda foi projetada principalmente para voz digitalizada. Três sistemas principais evoluíram na segunda geração: D-AMPS, GSM e CDMA.

D-AMPS

O produto da evolução do AMPS analógico em um sistema digital é o **AMPS digital** (D-AMPS). O D-AMPS foi projetado para ser retrocompatível com o AMPS. Isto significa que, em uma célula, um telefone pode usar AMPS e outro D-AMPS. O D-AMPS foi definido pela primeira vez no Padrão Provisório 54/IS-54 – Interim Standard 54), sendo revisado mais tarde no IS-136.

Banda O D-AMPS utiliza as mesmas bandas e canais que o AMPS.

Transmissão Cada canal de voz é digitalizado usando técnicas de PCM e de compressão muito complexas. Um canal de voz é digitalizado a 7,95 kbps. Três canais de voz digital de 7,95 kbps são combinados usando TDMA. O resultado são 48,6 kbps de dados digitais, porém, uma grande parte dessa taxa é ocupada por dados de controle e por redundância. Conforme mostra a Figura 6.39, o sistema envia 25 quadros por segundo, com 1.944 bits por quadro. Cada quadro tem uma duração de 40 ms (1/25) e é dividido em seis parcelas de tempo (slots) compartilhadas por três canais digitais; a cada canal são atribuídas duas dessas parcelas.

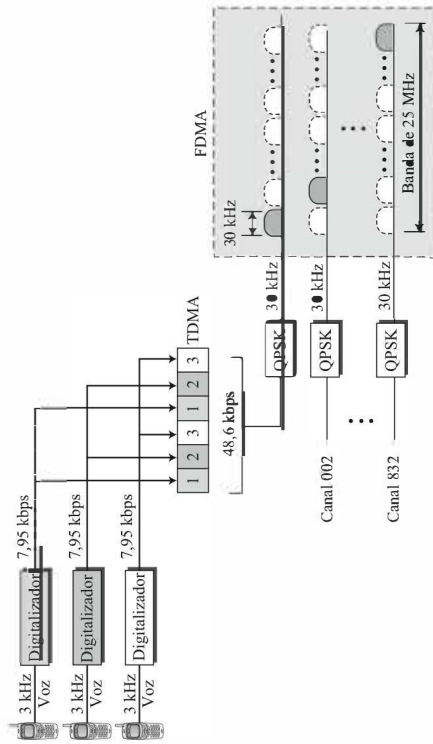


Figura 6.39 D-AMPS

Cada parcela de tempo comporta 324 *bits*. Entretanto, apenas 159 *bits* são provenientes da voz digitalizada; 64 *bits* são utilizados para controle e 101 *bits* são usados para correção de erros. Em outras palavras, cada canal alimenta 159 *bits* de dados úteis em cada um dos dois canais a ele atribuídos. O sistema adiciona 64 *bits* de controle e 101 *bits* para correção de erros.

Os 48,6 kbps de dados digitais resultantes modulam uma portadora utilizando QPSK; o resultado é um sinal analógico de 30 kHz. Finalmente, os sinais analógicos de 30 kHz compartilham uma banda de 25 MHz (FDMA). O D-AMPS adota um fator de reuso de frequências de 7.

O D-AMPS, ou IS-136, é um sistema de telefonia celular digital que usa TDMA e FDMA.

GSM

O Sistema Global para Comunicações Móveis (GSM – Global System for Mobile Communication) é um padrão europeu desenvolvido para fornecer uma tecnologia de segunda geração em comum para toda a Europa^{*}. O objetivo era substituir as diversas tecnologias de primeira geração incompatíveis.

Bandas O GSM utiliza duas bandas para comunicação duplex. Cada banda tem uma largura de 25 MHz, sendo deslocada na direção dos 900 MHz conforme mostra a Figura 6.40. Cada banda é dividida em 124 canais de 200 kHz, separados por bandas de guarda.

Transmissão A Figura 6.41 mostra um sistema GSM. Cada canal de voz é digitalizado e comprimido para um sinal digital de 13 kbps. Cada parcela discreta de tempo transporta 156,25 *bits*. Cada quadro é compartilhado por oito parcelas de tempo (TDMA). Vinte e seis quadros também formam um multiquadro compartilhado (FDMA). Podemos calcular a taxa de *bits* de cada canal como se segue.

* N. de T.: Apesar de inicialmente restrito à Europa, o GSM está presente atualmente em mais de 200 países do mundo, incluindo o Brasil. Mais informações sobre o GSM podem ser obtidas em <http://www.gsm.com>.



Figura 6.40 Bandas GSM.

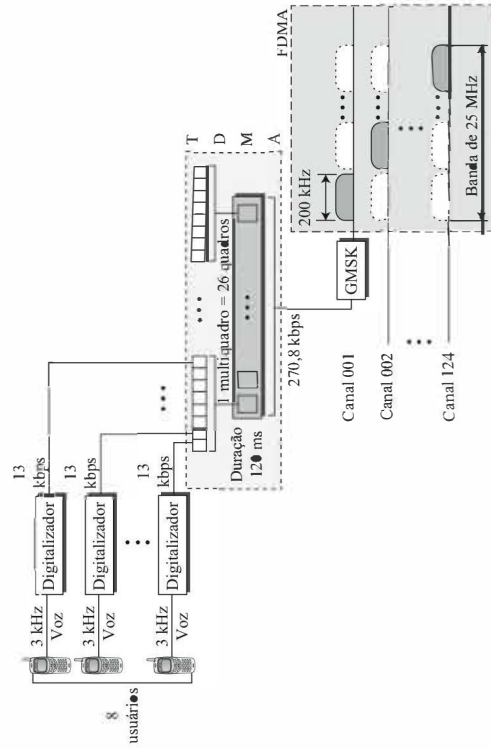


Figura 6.41 GSM.

Taxa de transferência de dados do canal = $(1/120 \text{ ms}) \times 26 \times 8 \times 156,25 = 270,8 \text{ kbps}$

Cada canal digital de 270,8 kbps modula uma portadora usando GMSK (uma forma de FSK utilizada principalmente em sistemas europeus); o resultado é um sinal analógico de 200 kHz. Finalmente, 124 canais analógicos de 200 kHz são combinados usando FDMA. O resultado é uma banda de 25 MHz. A Figura 6.42 mostra os dados do usuário e de controle em um multiquadro.

O leitor deve ter notado a grande quantidade de carga de controle no TDMA. Os dados do usuário ocupam apenas 65 *bits* por parcela de tempo. O sistema adiciona *bits* extras para correção de erros de modo que cada parcela de tempo apresente 114 *bits*. Além disso, são adicionados *bits* de controle para atingir 156,25 *bits* por parcela de tempo. Vinte e seis quadros também formam um multiquadro, que tem duração de 120 ms. No entanto, a arquitetura GSM define superquadros e hiperquadros que não acrescentam qualquer carga de controle; não os discutiremos aqui.

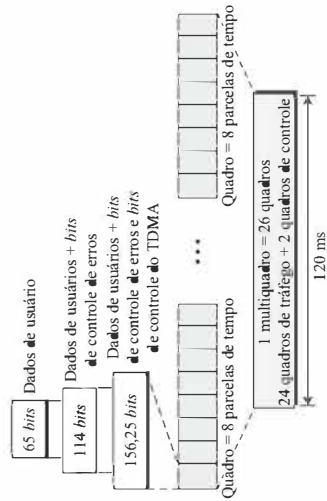


Figura 6.42 Componentes de um multiquadro.

Fator de reuso Devido ao seu complexo mecanismo de correção de erros, o GSM permite a adoção de um fator de reuso tão baixo quanto 3.

O GSM é um sistema de telefonia celular digital que usa TDMA e FDMA.

IS-95

Um dos padrões de segunda geração dominantes na América do Norte é o Padrão Provisório 95 (IS-95 – Interim Standard 95). Ele tem como base o CDMA e o DSSS.

Bandas e canais O IS-95 utiliza duas bandas para prover comunicação duplex. Elas podem ser a tradicional banda ISM de 800 MHz ou a banda ISM de 1.900 MHz. Cada banda é dividida em 20 canais de 1,228 MHz, separados por bandas de guarda. Cada provedor de serviços tem 10 canais a ele alocados. O IS-95 pode ser usado paralelamente ao AMPS. Cada canal IS-95 é equivalente a 41 canais AMPS ($41 \times 30 \text{ kHz} = 1,23 \text{ MHz}$).

Sincronização Todos os canais-base precisam ser sincronizados para usar o CDMA. Para se sincronizar, as estações base utilizam os serviços do Sistema de Posicionamento Global (GPS – Global Positioning System), um sistema de satélites que será discutido na próxima seção.

Transmissão direta O IS-95 apresenta duas técnicas de transmissão distintas: uma para uso no sentido direto (estação-base para dispositivo móvel) e outra para uso no sentido reverso (dispositivo móvel para estação-base). Na transmissão direta, as comunicações entre a estação-base e todos os equipamentos móveis são sincronizadas; a estação-base envia dados sincronizados para todos os dispositivos móveis. A Figura 6.43 mostra um diagrama simplificado no sentido direto.

Cada canal de voz é digitalizado, produzindo dados a uma taxa básica de 9,6 kbps. Após a adição dos bits de correção de erros e de repetição, bem como do intercalamento, o resultado obtido é um sinal de 19,2 kbps (milhares de sinais por segundo). Esses dados de saída são, então, embaralhados usando um sinal de 19,2 kbps. O sinal de embaralhamento é produzido a partir de um gerador de códigos longos que utiliza o Número de Série Eletrônico (ESN – Electronic Serial Number) da estação móvel e gera 2^{28} fichas pseudoaleatórias, cada ficha tendo 42 bits. Perceba que as fichas são geradas pseudoaleatoriamente, não aleatoriamente de fato, pois a sequência de fichas se repete. A saída do gerador de códigos longos é passada para um dispositivo conhecido

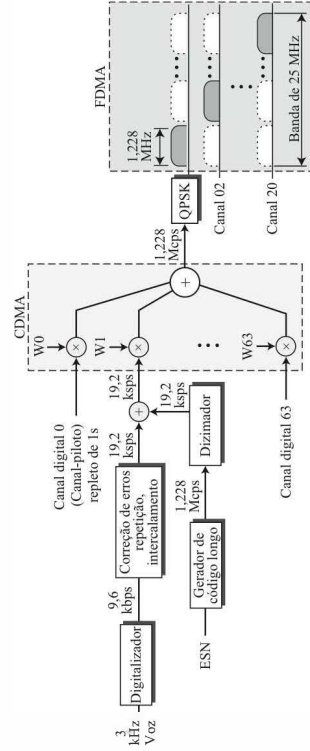


Figura 6.43 IS-95: transmissão no sentido direto.

como dimisor (*dimisor*), que seleciona 1 bit a cada 64 bits. A saída do dimisor é utilizada no embaralhamento. O embaralhamento é usado para prover privacidade à comunicação; o ESN é único para cada estação.

O resultado do embaralhamento é combinado usando CDMA. Para cada canal de tráfego, uma ficha correspondente a uma linha de uma tabela de Walsh 64×64 é selecionada. O resultado é um sinal de 1,228 Mcps (*megachips por segundo*).

$$19,2 \text{ kbps} \times 64 \text{ cps} = 1,228 \text{ Mcps}$$

O sinal é passado para um modulador QPSK, que produz um sinal de 1,228 MHz. A largura de banda resultante é deslocada de forma adequada, usando FDMA. A partir de um canal analógico, são criados 64 canais digitais dos quais 55 são canais de tráfego (transportam voz digitalizada). Nove canais são utilizados para controle e sincronização:

- O canal 0 é um canal-piloto. Ele envia um fluxo contínuo de bits 1 para as estações móveis. O fluxo permite a sincronização de bits, serve como uma referência de fase para a demodulação e permite que a estação móvel compare a potência do sinal de estações-base para tomar decisões relativas ao *handoff*.
- O canal 32 fornece informações sobre o sistema para a estação móvel.
- Os canais de 1 a 7 são usados para mecanismos de *paging*, permitindo o envio das mensagens para uma ou mais estações móveis.
- Os canais de 8 a 31 e de 33 a 63 são canais de tráfego que transportam voz digitalizada da estação-base até a estação móvel correspondente.

Transmissão reversa O uso do CDMA no sentido direto é possível porque o canal-piloto envia uma sequência contínua de bits 1 para sincronizar a transmissão. A sincronização não é feita no sentido reverso porque isto exigiria uma entidade capaz de fazê-lo, o que não é viável. Em vez do CDMA, os canais reversos usam o Espalhamento Espectral por Sequência Direta (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum), discutido no Capítulo 7. A Figura 6.44 mostra um diagrama simplificado para a transmissão reversa.

Cada canal de voz é digitalizado, produzindo dados a uma taxa de 9,6 kbps. Entretanto, após a adição dos bits de correção de erros e de repetição, além do intercalamento, o resultado é um sinal de 28,8 kbps. Em seguida, a saída passa por um modulador de 6/64 símbolos. Os símbolos são divididos em blocos de seis símbolos e cada bloco é interpretado como um número binário (de 0 a 63). O

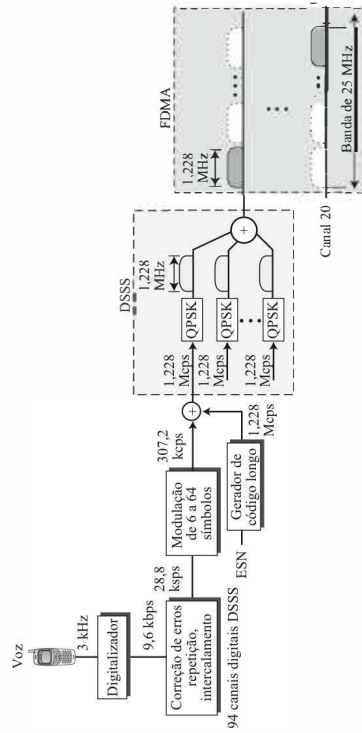


Figura 6.44 IS-95: transmissão no sentido reverso.

número binário é utilizado para indexar uma matriz de Walsh 64×64 , levando à seleção de uma linha de fichas. Perceba que esse procedimento não é equivalente ao CDMA; os *bits* não são multiplicados pelas fichas em uma linha. Cada bloco de seis símbolos é substituído por um código de 64 fichas. Isso é feito para fornecer uma espécie de ortogonalidade, diferenciando os fluxos de *chips* das diferentes estações móveis. O resultado desse processo é a criação de um sinal de $(28,8/6) \times 64$ ou 307,2 kbps.

O próximo passo consiste no espalhamento espectral; cada ficha é espalhada em 4. Novamente, o ESN da estação móvel é usado para gerar um código longo de 42 *bits* a uma taxa de 1,228 Mcps, que é o resultado de 4 vezes 307,2. Após o espalhamento, cada sinal é modulado usando um método de QPSK, o qual é ligeiramente diferente daquele utilizado no sentido direto; não entramos em detalhes aqui. Perceba que não há um mecanismo de acesso múltiplo aqui: todos os canais reversos enviam os seus sinais analógicos para o ar, porém as fichas corretas serão recebidas pela estação-base devido ao espalhamento espectral.

Embora possamos criar $2^{12} - 1$ canais digitais na direção reversa (devido ao gerador de código longo), normalmente são utilizados 94 canais; 62 são canais de tráfego, enquanto 32 são canais usados para ganhar acesso à estação-base.

O IS-95 é um sistema de telefonia celular digital que usa CDMA/DSSS e FDMA.

Dois conjuntos de taxa de transferência de dados O IS-95 define dois conjuntos de taxa de transferência de dados, com quatro taxas distintas em cada conjunto. O primeiro conjunto especifica 9.600, 4.800, 2.400 e 1.200 bps. Se, por exemplo, a taxa selecionada for de 1.200 bps, cada *bit* é repetido oito vezes para proporcionar uma taxa de 9.600 bps. O segundo conjunto define 14.400, 7.200, 3.600 e 1.800 bps. Isso é possível reduzindo-se o número de *bits* utilizados para correção de erros. As taxas de *bits* de um conjunto estão relacionadas com a atividade do canal. Se o canal estiver silencioso, apenas 1.200 *bits* podem ser transferidos, o que melhora o espalhamento devido à repetição de cada *bit* oito vezes.

Fator de reuso de frequências Em um sistema IS-95, o fator de reuso de frequências normalmente vale 1 porque a interferência causada por células vizinhas não é capaz de afetar uma transmissão CDMA ou DSSS.

Soft handoff Todas as estações-base fazem o *handover* contínuo de sinais usando o seu canal-piloto. Isto significa que uma estação móvel pode detectar o sinal-piloto proveniente de sua célula e das células vizinhas. Isso permite que uma estação móvel faça um *soft handoff* em vez de um *hard handoff*.

Terceira geração (3G)

A terceira geração da telefonia celular consiste em uma combinação de tecnologias que fornecem comunicação tanto de dados digitais como de voz. Usando um pequeno dispositivo portátil, uma pessoa é capaz de falar com qualquer outra pessoa do mundo com uma qualidade de voz semelhante à da rede de telefonia fixa existente. Uma pessoa pode obter e assistir um filme, obter e ouvir músicas, navegar na Internet ou jogar em rede, fazer uma videoconferência e muito mais. Uma das características interessantes de um sistema de terceira geração é que o dispositivo portátil está sempre conectado, não é necessário discar um número para se conectar à Internet.

O conceito de terceira geração teve início em 1992, quando a ITU publicou um projeto denominado **Comunicação para Internet Móvel 2000** (IMT-2000 – Internet Mobile Communication 2000). O projeto especifica alguns critérios para a tecnologia de terceira geração, descritos a seguir:

- Qualidade de voz comparável à da rede de telefonia pública existente.
- Taxa de transferência de dados de 144 kbps para acesso a partir de veículos em movimento (automóveis), 384 kbps para acesso enquanto os usuários caminham (pedestres) e 2 Mbps para usuários que não estejam em movimento (no escritório ou em casa).
- Suporte a serviços de dados baseados em comutação de pacotes e em comutação de circuitos.
- Uma banda total de 2 GHz.
- Larguras de banda de 2 MHz.
- Interface com a Internet.

O principal objetivo da terceira geração de telefonia celular é fornecer comunicação pessoal universal.

Interface de rádio do IMT-2000

A Figura 6.45 mostra as interfaces de rádio (padrões sem fio) adotadas pelo IMT-2000. Todos os cinco foram desenvolvidos a partir de tecnologias de segunda geração. Os dois primeiros evoluíram a partir da tecnologia CDMA. O terceiro evoluiu a partir de uma combinação de CDMA e TDMA. A quarta é uma evolução do TDMA e a última evoluiu a partir do FDMA e do TDMA.

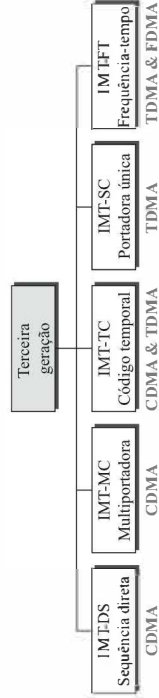


Figura 6.45 IMT-2000: interfaces de rádio.

IMT-DS Essa abordagem utiliza uma versão do CDMA denominada CDMA de Banda Larga (W-CDMA – Wideband CDMA). O W-CDMA utiliza uma largura de banda de 5 MHz. Ele foi desenvolvido na Europa e é compatível com o CDMA usado no IS-95.

IMT-MC Essa abordagem foi desenvolvida na América do Norte e é conhecida como CDMA 2000. Trata-se de uma evolução da tecnologia CDMA utilizada em canais IS-95. O CDMA 2000 combina espalhamento espectral da nova banda larga (15 MHz) com o CDMA de banda estreita (1,25 MHz) do IS-95. Ele é retrocompatível com o IS-95, permitindo a comunicação em múltiplos canais de 1,25 MHz (1, 3, 6, 9, 12 vezes), chegando a até 15 MHz. O uso dos canais mais largos permite que o CDMA 2000 atinja a taxa de transferência de dados de 2 Mbps especificada para a terceira geração.

IMT-TC Esse padrão utiliza uma combinação de W-CDMA e TDMA. Ele tenta atingir as metas do IMT-2000 adicionando multiplexação TDMA ao W-CDMA.

IMT-SC Esse padrão usa TDMA apenas.

IMT-FT Esse padrão usa uma combinação de FDMA e TDMA.

Quarta geração (4G)

Espera-se que a quarta geração da telefonia celular seja uma completa revolução no universo das comunicações sem fio. Alguns dos objetivos definidos pelo grupo de trabalho 4G são os seguintes:

- Um sistema espectralmente eficiente.
- Alta capacidade da rede.
- Taxa de transferência de dados de 100 Mbit/s para acessos provenientes de um auto-móvel em movimento e de 1 Gbit/s para usuários estacionários.
- Taxa de transferência de dados de pelo menos 100 Mbit/s entre quaisquer dois pontos no mundo.
- Handoff fluido entre redes heterogêneas.
- Conectividade completa e roaming global ao longo de múltiplas redes.
- Alta qualidade de serviços para suporte a multimídia de próxima geração (o tema qualidade de serviço será discutido no Capítulo 8).
- Interoperabilidade com padrões sem fio existentes.
- Rede de comutação de pacotes inteiramente baseada em IP.

A quarta geração é totalmente baseada em comutação de pacotes (ao contrário do 3G) e suporta IPv6. Isto leva a uma melhor capacidade de prover *multicast*, segurança e otimização de rotas.

Esquema de acesso

Para aumentar a eficiência, a capacidade e a escalabilidade, novas técnicas de acesso estão sendo consideradas para o 4G. Por exemplo, o **FDMA Ortogonal** (OFDMA – Orthogonal FDMA) e o **FDMA Intercalado** (IFDMA – Interleaved FDMA) estão sendo considerados, respectivamente, para a recepção e envio de dados da próxima geração do **Sistema de Telecomunicações Móveis Universal** (UMTS – Universal Mobile Telecommunications System). De forma similar, o **CDMA Multipartilhada** (MC-CDMA – Multi-Carrier Code Division Multiple Access) está sendo proposto para o padrão IEEE 802.20.

Modulação

Um esquema mais eficiente de Modulação por Amplitude em Quadratura (o 64-QAM) está sendo proposto para uso nos padrões Evolução de Longo Prazo (LTE – Long Term Evolution).

Sistema de rádio

A quarta geração utiliza um sistema de **Rádio Definido por Software** (SDR – Software Defined Radio). Ao contrário de um rádio comum, que utiliza *hardware*, os componentes de um SDR são peças de *software* e, portanto, mais flexíveis. Um SDR pode alterar seu programa para deslocar suas frequências com o objetivo de amenizar interferências por sinais em frequências presentes no meio.

Antena

O sistema de antenas **Múltiplas Entradas e Múltiplas Saídas** (MIMO – Multiple-Input Multiple-Output) e **MU-MIMO** (MIMO Multiusuário), uma vertente da área de antenas inteligentes, foi proposto para uso no 4G. Usando esse sistema de antenas em conjunto com multiplexação especial, o 4G permite que fluxos independentes sejam transmitidos simultaneamente a partir de todas as antenas, aumentando muitas vezes a taxa de transferência de dados. O MIMO também permite que o emissor e o receptor movam-se de forma coordenada para uma frequência livre quando houver interferência.

Aplicações

Com as taxas de transferências atuais de 15–30 Mbit/s, o 4G é capaz de fornecer aos usuários transmissões de TV de alta definição. Com taxas de 100 Mbit/s, o conteúdo de um DVD-5 pode ser obtido em cerca de cinco minutos para que possa ser assistido posteriormente.

6.2.3 Redes de satélites

Uma *rede de satélites* consiste em uma combinação de nós, alguns dos quais sendo satélites, que permitem comunicações de um ponto a outro do planeta Terra. Um nó da rede pode ser um satélite, uma estação terrestre ou um terminal ou telefone de usuário final. Embora um satélite natural, como a lua, possa ser usado como um nó na rede, a utilização de satélites artificiais é preferível porque podemos instalar equipamentos eletrônicos no satélite para regenerar sinais que tenham perdido parte de sua energia durante o trajeto. Outra restrição com relação ao uso de satélites naturais refere-se à distância deles até a Terra, o que leva a grandes atrasos na comunicação.

Redes de satélites são como redes de telefonia celular, no sentido que eles dividem o planeta em células. Os satélites podem fornecer capacidade de transmissão de e para qualquer local da Terra, não importando a distância. Essa vantagem permite que comunicações de alta qualidade sejam disponibilizadas em partes subdesenvolvidas do mundo sem a necessidade de investimentos vultosos em infraestrutura terrestre.

Órbitas

Um satélite artificial precisa ter uma *órbita*, o trajeto que ele segue ao redor da Terra. A órbita pode ser equatorial, inclinada ou polar, conforme mostra a Figura 6.46.

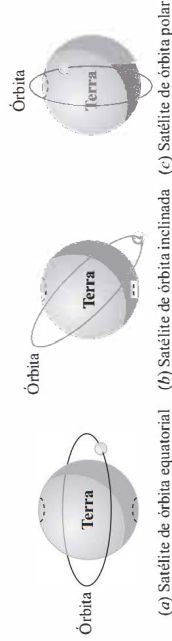


Figura 6.46 Órbitas de satélites.

O período de um satélite, que corresponde ao tempo necessário para que ele faça uma volta completa ao redor da Terra, é determinado pela lei de Kepler. Tal lei determina o período como uma função da distância do satélite ao centro da Terra.

Exemplo 6.4

Qual é o período da Lua, de acordo com a lei de Kepler?

Período = C x distância^{1,5}

Nesta equação, C é uma constante que vale aproximadamente 1/100. O período é dado em segundos e a distância é dada em quilômetros.

Solução

A Lua está localizada a aproximadamente 384.000 km acima da Terra. O raio da Terra é de 6.378 km. Aplicando a fórmula, obtemos o seguinte.

Período = (1/100) x (384.000 + 6.378)^{1,5} = 2.435.090 s = 1 mês

Exemplo 6.5

De acordo com a lei de Kepler, qual é o período de um satélite que esteja localizado em uma órbita a cerca de 35.786 km acima da Terra?

Solução

Aplicando a fórmula, obtemos o seguinte.

Período = (1/100) x (35.786 + 6.378)^{1,5} = 86.579 s = 24 h

Isto significa que um satélite localizado a 35.786 km tem um período de 24 h, que é igual ao período de rotação da Terra. Diz-se que esse tipo de satélite é *estacionário* em relação à Terra. A órbita, conforme veremos, é denominada *órbita geostacionária*.

Cobertura

Os satélites processam micro-ondas com antenas bidirecionais (linha de visada). Portanto, o sinal de um satélite é normalmente destinado a uma área específica denominada **área de cobertura**. No centro da área de cobertura, a potência do sinal é máxima. A potência diminui à medida que nos afastamos do centro da área de cobertura. A fronteira da área de cobertura corresponde ao local onde o nível de potência tem um limite predefinido.

Três categorias de satélites

Com base na localização da órbita, os satélites podem ser divididos em três categorias: **Órbita Terrestre Geostacionária** (GEO – Geostationary Earth Orbit), **Órbita Terrestre Baixa** (LEO – Low-Earth-Orbit) e **Órbita Terrestre Média** (MEO – Medium-Earth-Orbit).

A Figura 6.47 mostra as altitudes dos satélites com relação à superfície da Terra. Existe apenas uma órbita, a uma altitude de 35.786 km, para os satélites GEO. Satélites MEO ficam localizados em altitudes entre 5.000 e 15.000 km. Satélites LEO normalmente encontram-se em uma altitude inferior a 2.000 km.

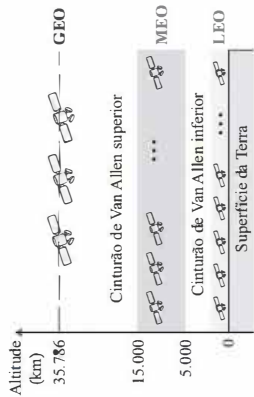


Figura 6.47 Altitudes das órbitas de satélites.

Uma razão para haver diferentes órbitas é a existência de dois cinturões de Van Allen. Um cinturão de Van Allen é uma camada que contém partículas carregadas. Um satélite orbitando um desses dois cinturões seria totalmente destruído pelas partículas carregadas de energia. As órbitas MEO ficam localizadas entre os dois cinturões.

Bandas de frequência para comunicação via satélite

As frequências de micro-ondas reservadas para a comunicação via satélite encontram-se na faixa dos giga-hertz (GHz). Cada satélite envia e recebe dados usando duas bandas distintas. A transmissão da Terra para o satélite é chamada *uplink* ou *ligação ascendente*. A transmissão do satélite para a Terra é chamada *downlink* ou *ligação descendente*. A Tabela 6.5 mostra os nomes das bandas e as frequências para cada faixa.

Tabela 6.5 Bandas de frequência usadas por satélites.			
Banda	Downlink, GHz	Uplink, GHz	Largura de banda, MHz
L	1,5	1,6	15
S	1,9	2,2	70
C	4,0	6,0	500
Ku	11,0	14,0	500
Ka	20,0	30,0	3500

Satélites GEO

A propagação em linha de visada requer que as antenas emissora e receptora estejam voltadas uma para a outra o tempo todo (uma antena deve ser capaz de avistar a outra). Por isso, um satélite que se move mais rapidamente ou mais lentamente do que a rotação da Terra é útil somente por curtos períodos. Para assegurar uma comunicação constante, o satélite deve mover-se à mesma velocidade que a Terra, de modo que ele aparente estar fixo acima de um determinado ponto. Esses satélites são chamados *geostacionários*.

Como a velocidade orbital baseia-se na distância do satélite ao planeta, só pode haver uma órbita geostacionária, que se encontra no plano equatorial e fica a aproximadamente 35.786 quilômetros da superfície da Terra.

Porém, um único satélite geostacionário não é capaz de cobrir a Terra toda. Um satélite em órbita é capaz de manter contato em linha de visada com um grande número de estações, mas a curvatura da Terra ainda impede que uma grande parte do planeta seja avistada. São necessários no mínimo três satélites equidistantes uns dos outros em órbita terrestre geostacionária (GEO) para que a transmissão tenha cobertura global completa. A Figura 6.48 mostra três satélites em órbita geostacionária ao redor do equador, cada um deles separado do outro por 120° . A perspectiva da figura é a do Polo Norte.

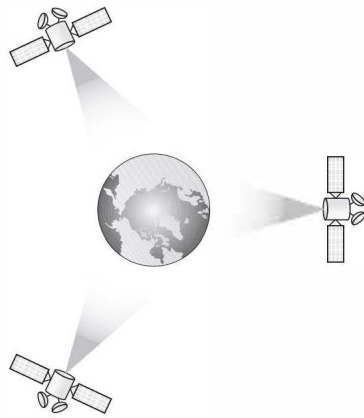


Figura 6.48 Satélites em órbita geostacionária.

Satélites MEO

Satélites MEO (*Medium-Earth-Orbit*, ou Órbita Terrestre Média) são aqueles posicionados entre os dois cinturões de Van Allen. Um satélite nessa órbita demora cerca de 6 a 8 horas para circundar a Terra.

Sistema de Posicionamento Global

Um exemplo de um sistema de satélites MEO é o **Sistema de Posicionamento Global** (GPS – Global Positioning System), criado e operado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, que orbita a uma altitude de cerca de 18.000 km (11.000 milhas) acima da Terra. O sistema é constituído por 24 satélites e é usado para navegação por terra, mar e ar, fornecendo hora e localização para veículos e embarcações. O GPS utiliza 24 satélites em seis órbitas, conforme mostra a Figura 6.49. As órbitas e as localizações dos satélites em cada órbita foram projetadas de tal forma que, a qualquer momento, quatro satélites sejam visíveis a partir de qualquer ponto na Terra. Um receptor de GPS tem um sistema interno que informa a posição atual de cada satélite.

Trilateração O GPS opera com base em um princípio denominado **trilateração**. Os termos *trilateração* e *triangulação* são normalmente usados como sinônimos. Usamos a palavra *trilateração*, que significa o uso de três distâncias, em vez de *triangulação*, que pode ser interpretado como o uso de três ângulos. Em um avião, se soubermos nossa distância com relação a três pontos, sabemos exatamente onde estamos. Digamos que estamos a 10 km de distância do ponto A, a 12 km de distância do ponto B e a 15 km de distância do ponto C. Se desenhamos três círculos cujos centros sejam A, B e C, devemos estar em algum lugar no círculo A, em algum lugar no

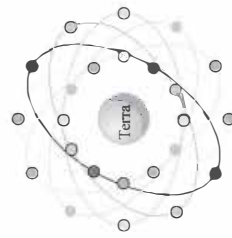


Figura 6.49 Órbitas dos satélites do Sistema de Posicionamento Global (GPS).

círculo B, e em algum lugar no círculo C. Esses três círculos se interceptam em um único ponto (se os valores de nossas distâncias estiverem corretos); essa é nossa posição. A Figura 6.50a ilustra o conceito.

No espaço tridimensional, a situação é diferente. Três esferas se interceptam em dois pontos, conforme mostra a Figura 6.50b. Precisamos de pelo menos quatro esferas para determinar nossa posição exata no espaço (longitude, latitude e altitude). Entretanto, se conhecermos fatos adicionais sobre nossa localização (por exemplo, sabemos que não estamos dentro do oceano ou em algum lugar no espaço), três esferas são suficientes, pois um dos dois pontos no qual as esferas se interceptam é tão improvável que o outro pode ser selecionado sem dúvidas.

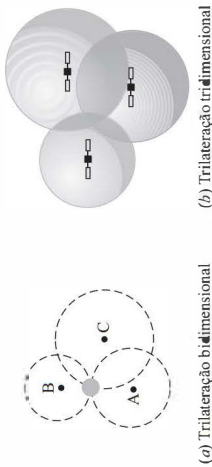


Figura 6.50 Trilateração em um avião.

Medindo a distância O princípio da triangulação permite determinar nossa localização na Terra se soubermos a que distância nos encontramos de três satélites e a posição de cada satélite, que pode ser calculada por um receptor GPS (usando a trajetória predeterminada dos satélites). O receptor GPS precisa, então, determinar a sua distância com relação a pelo menos três satélites de GPS (centros das esferas). A medição da distância é realizada usando um princípio conhecido como *one-way ranging*, ou *medição unidirecional*. Por ora, consideremos que todos os satélites de GPS e o receptor terrestre estejam sincronizados. Cada um dos 24 satélites transmite sincronamente um sinal complexo, sendo que o sinal de cada satélite apresenta um padrão único. O computador no receptor mede o atraso entre os sinais provenientes dos satélites e sua cópia dos sinais originais para determinar as distâncias até os satélites.

Sincronização A discussão anterior se baseou na suposição de que os relógios dos satélites estão sincronizados entre eles e também com o relógio do receptor. Satélites usam relógios atômicos, que são precisos e podem funcionar de forma síncrona uns com os outros. O relógio do receptor, no

entanto, é um relógio normal de quartzo (um relógio atômico custa mais de US\$ 50 000), e não existe uma forma de sincronizá-lo com os relógios dos satélites. Há uma imprecisão desconhecida entre os relógios dos satélites e o relógio do receptor, o que introduz uma imprecisão correspondente no cálculo da distância. Devido a essa imprecisão, a distância medida é denominada *pseudodistância*.

O GPS utiliza uma solução elegante para o problema da imprecisão do relógio, admitindo que o valor da imprecisão é igual para todos os satélites que estão sendo usados. O cálculo da posição se resume a determinar quatro incógnitas: as coordenadas x_r , y_r e z_r do receptor, e a imprecisão em comum do relógio, dt . Para determinar esses quatro valores desconhecidos, precisamos de pelo menos quatro equações. Isto significa que precisamos medir pseudodistâncias com relação a quatro satélites em vez de três. Se denotarmos as quatro pseudodistâncias medidas por PR_1 , PR_2 , PR_3 e PR_4 , e denotarmos as coordenadas de cada satélite por x_i , y_i e z_i (para $i = 1$ até 4), podemos determinar os quatro valores desconhecidos anteriormente mencionados usando as seguintes quatro equações (os valores desconhecidos são mostrados em cinza).

$$\begin{aligned} PR_1 &= [(x_1 - x_r)^2 + (y_1 - y_r)^2 + (z_1 - z_r)^2]^{1/2} + c \times dt \\ PR_2 &= [(x_2 - x_r)^2 + (y_2 - y_r)^2 + (z_2 - z_r)^2]^{1/2} + c \times dt \\ PR_3 &= [(x_3 - x_r)^2 + (y_3 - y_r)^2 + (z_3 - z_r)^2]^{1/2} + c \times dt \\ PR_4 &= [(x_4 - x_r)^2 + (y_4 - y_r)^2 + (z_4 - z_r)^2]^{1/2} + c \times dt \end{aligned}$$

As coordenadas usadas nas fórmulas anteriores são dadas em um espaço de referência ECEF (*Earth-Centered Earth-Fixed*, ou Centrado e Fixo na Terra), o que significa que a origem do espaço de coordenadas é o centro da Terra e que o espaço de coordenadas gira com a Terra. Isto implica que as coordenadas ECEF de um ponto fixo sobre a superfície da Terra não mudam.

Aplicação O GPS é usado por forças militares. Por exemplo, milhares de receptores GPS portáteis foram usados durante a Guerra do Golfo Pérsico por soldados, veículos e helicópteros. Outro uso do GPS é na navegação. O condutor de um automóvel pode determinar a localização de seu veículo. O condutor pode, em seguida, consultar uma base de dados na memória do automóvel* e ser guiado até seu destino. Em outras palavras, o GPS indica a localização do carro e a base de dados utiliza essa informação para encontrar um caminho até o destino. Outra aplicação muito interessante é a sincronização de relógios. Conforme mencionado anteriormente, o sistema de telefonia celular IS-95 usa o GPS para a sincronização temporal entre as estações-base.

Satélites LEO

Satélites LEO (*Low-Earth-Orbit*, ou Órbita Terrestre Baixa) têm órbitas polares. Sua altitude fica entre 500 e 2 000 km, com um período de rotação de 90 a 120 minutos. O satélite tem uma velocidade de 20 000 a 25 000 km/h. Um sistema LEO geralmente apresenta uma cobertura do tipo celular, semelhante ao sistema de telefonia celular. A área de cobertura normalmente tem um diâmetro de 8 000 km. Como os satélites LEO ficam próximos à Terra, o atraso de propagação para a ida e volta do sinal é normalmente menor que 20 ms, valor aceitável para comunicações de áudio.

Um sistema LEO é composto por uma constelação de satélites que operam em conjunto como uma rede; cada satélite atua como um comutador. Satélites que estejam próximos um do outro são conectados por meio de Enlaces Intersatélite (ISLs – Intersatellite Links). Um sistema móvel se comunica com o satélite por meio de um Enlace Móvel de Usuário (UML – User Mobile Link). Um satélite pode também se comunicar com uma estação terrestre (*gateway*) por meio de um Enlace de Gateway (GWL – Gateway Link). A Figura 6.51 mostra uma rede de satélites LEO comum.

Os satélites LEO podem ser divididos em três categorias: *little LEO*, *big LEO* e *broadband LEO*. Os satélites *little LEO* (ou LEO pequenos) operam em uma frequência inferior a 1 GHz. Eles são usados principalmente para mensagens que exigem uma baixa taxa de transferência de dados.

* N. de T.: A base de memória do GPS costuma incluir informações como mapas das vias, condições de tráfego, dentre outras.

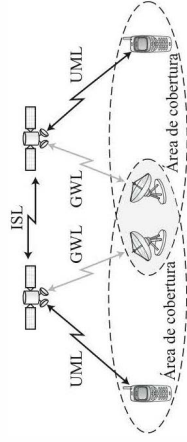


Figura 6.51 Sistema de satélites LEO.

Os satélites *big LEO* (ou LEO grandes) operam em frequências entre 1 e 3 GHz. O sistema **Globalstar** é um exemplo de sistema de satélites *big LEO*. Ele usa 48 satélites em seis órbitas polares, sendo que cada órbita hospeda oito satélites. As órbitas ficam a uma altitude de quase 1 400 km. O sistema **Iridium** também é um exemplo que usa satélites *big LEO*. O sistema Iridium tem 66 satélites distribuídos em seis órbitas, com 11 satélites em cada uma. As órbitas ficam a uma altitude de 750 km. Os satélites em cada órbita ficam separados um do outro por aproximadamente 32° de latitude. Os satélites do tipo *broadband LEO* (ou LEO de banda larga) fornecem uma capacidade de comunicação semelhante àquela obtida com redes de fibra óptica. O primeiro sistema *broadband LEO* foi o **Teledesic**, um é um sistema de satélites que fornece comunicação similar à da fibra óptica (canais de banda larga, reduzida taxa de erros e baixo atraso). Seu principal objetivo é fornecer acesso de banda larga à Internet para usuários do mundo todo. Ele é também conhecido como “Internet no céu.” O projeto desse sistema foi iniciado em 1990 por Craig McCaw e Bill Gates; mais tarde, outros investidores juntaram-se ao consórcio. O projeto está programado para estar totalmente funcional em um futuro próximo.

6.3 IP MÓVEL

Como os computadores móveis e pessoais como os *notebooks* vêm se tornando cada vez mais populares, é necessário considerarmos o desenvolvimento de sistemas com suporte a IP móvel. Essa é a extensão do protocolo IP que permite que computadores móveis se conectem à Internet de qualquer lugar onde tal conexão seja possível. Nesta seção, discutimos essa questão.

6.3.1 Endereçamento

O principal problema que deve ser resolvido quando se deseja fornecer comunicação móvel usando o protocolo IP refere-se ao endereçamento.

Estações fixas

O endereçamento IP original baseia-se no pressuposto de que as estações são fixas, ficando ligadas a uma rede específica. Os roteadores usam o endereço IP para rotear um datagrama IP. Conforme vimos no Capítulo 5, um endereço IP tem duas partes: um prefixo e um sufixo. O prefixo associa uma estação a uma rede. Por exemplo, o endereço IP 10.3.4.24/8 define uma estação ligada à rede 10.0.0/8. Isto implica que uma estação na Internet não tenha um endereço de rede que ela possa carregar consigo de um lugar para outro. O endereço é válido somente enquanto a máquina está conectada àquela rede. Se a estação trocar de rede, o endereço não é mais válido. Os roteadores usam essa associação para encaminhar pacotes; eles usam o prefixo para entregar o pacote à rede à qual a estação está conectada. Esse esquema funciona perfeitamente com **estações fixas**.

Os endereços IP foram projetados para funcionar com estações fixas, pois parte do endereço define a rede à qual a estação está conectada.

Estações móveis

Quando consideramos estações que se movem de uma rede para outra, a estrutura do endereçamento IP precisa ser modificada. Diversas soluções foram propostas.

Alteração do endereço

Uma solução simples é permitir que a **estação móvel** troque seu endereço quando for para a nova rede. A estação pode usar o DHCP (ver Capítulo 4) para obter um novo endereço que associe a estação à nova rede. Essa abordagem tem vários inconvenientes. Em primeiro lugar, os arquivos de configuração precisariam ser alterados. Em segundo lugar, cada vez que o computador se movesse de uma rede para outra, sua placa de rede teria que ser reinicializada. Em terceiro lugar, as tabelas DNS (ver Capítulo 2) precisariam ser atualizadas, de modo que todas as outras estações na Internet ficassem cientes da mudança. Em quarto lugar, se a estação se movesse de uma rede para outra durante uma transmissão, a transferência dos dados seria interrompida. Isto acontece porque as portas e os endereços IP do cliente e do servidor devem permanecer inalterados durante toda a conexão.

Dois endereços

A abordagem mais viável consiste em utilizar dois endereços. A estação tem seu endereço original, conhecido como **endereço nativo** (*home address*), e um endereço temporário, denominado **endereço de tratamento** (*care-of address*). O endereço nativo não se altera; ele associa a estação à sua **rede nativa**, também conhecida como **rede local** (*home network*), a rede que é a residência permanente da estação. O endereço de tratamento é temporário. Quando uma estação se move de uma rede para outra, o endereço de tratamento muda; ele está associado à **rede externa**, também denominada **rede visitada** (*foreign network*), que corresponde à rede para a qual a estação se moveu. A Figura 6.52 ilustra o conceito.

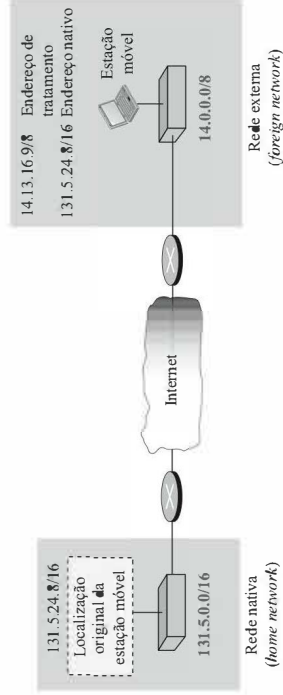


Figura 6.52 Endereços nativos (*home address*) e endereço de tratamento (*care-of address*).

* N. e T.: O nome *care-of address* tem sua origem no sistema de correios tradicional, no qual se usa a expressão *care-of* ("aos cuidados de"), para indicar o nome de um destinatário específico da carta (possivelmente diferente do proprietário da residência).

O IP móvel emprega dois endereços para uma estação móvel: um endereço nativo (*home address*) e um endereço de tratamento (*care-of address*). O endereço nativo não se altera; o endereço de tratamento muda à medida que a estação móvel se move de uma rede para outra.

Quando uma estação móvel visita uma rede externa, aquela estação recebe seu endereço de tratamento durante o processo de descoberta de agente e registro, descrito mais adiante.

6.3.2 Agentes

Para fazer com que a mudança do endereço seja transparente para o restante da Internet, são necessários um **agente nativo**, também conhecido como *home agent*, e um **agente externo**, também denominado *foreign agent*. A Figura 6.53 mostra a posição de um agente nativo com relação à rede nativa e de um agente externo com relação à rede externa.

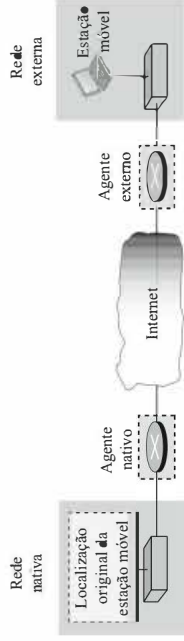


Figura 6.53 Agente nativo (*home agent*) e agente externo (*foreign agent*).

Mostramos os agentes nativos e externos como roteadores, mas precisamos enfatizar que sua função específica como agentes é realizada na camada de aplicação. Em outras palavras, ambos atuam como roteadores e como aplicativos.

Agente nativo

O agente nativo é geralmente um roteador conectado à rede original da estação móvel. O agente nativo atua em nome da estação móvel quando uma estação remota envia um pacote para a móvel. O agente nativo recebe o pacote e o envia para o agente externo.

Agente externo

O agente externo é geralmente um roteador conectado à rede visitada. Ele recebe os pacotes enviados pelo agente local e os entrega para a estação móvel.

A estação móvel também pode atuar como um agente externo. Em outras palavras, a estação móvel e o agente externo podem ser a mesma entidade. Entretanto, para fazer isso, a estação móvel deve, ela mesma, ser capaz de receber um endereço de tratamento, o que pode ser feito usando o DHCP. Além disso, a estação móvel precisa do *software* necessário para se comunicar com o agente nativo e ter dois endereços: o seu endereço nativo e o de tratamento. Essa abordagem de endereçamento duplo deve ser transparente para os programas da camada de aplicação.

Quando a estação móvel atua como um agente externo, o endereço de tratamento é denominado de um **endereço de tratamento coaloçado** (*collocated care-of address*).

Quando a estação móvel e o agente externo são a mesma entidade, o endereço de tratamento é denominado um endereço de tratamento co-localado (*collocated care-of address*).

A vantagem de usar um endereço de tratamento co-localado é que a estação móvel pode mover-se para qualquer rede sem se preocupar com a disponibilidade de um agente externo. A desvantagem é que a estação móvel precisa de um *software* extra para poder agir como seu próprio agente externo.

6.3.3 Três fases

Para se comunicar com uma estação remota, uma estação móvel passa por um processo em três fases: descoberta de agente, registro e transferência de dados, conforme mostra a Figura 6.54.

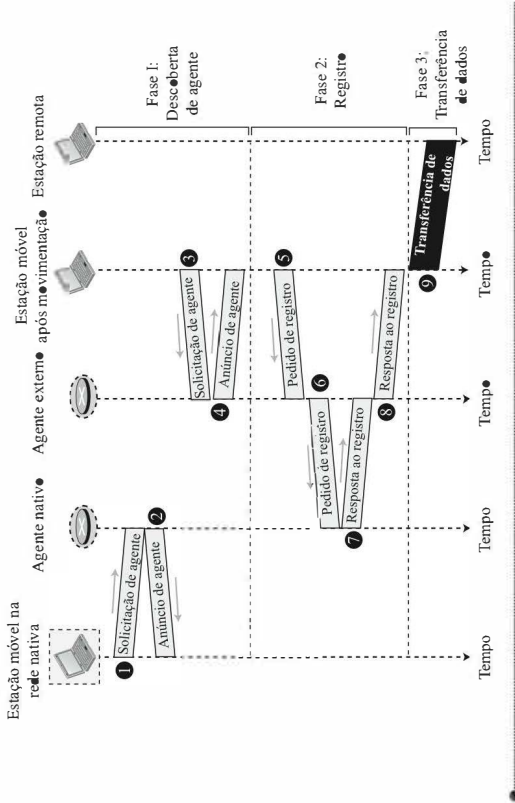


Figura 6.54 Estação remota e comunicação com estação móvel.

A primeira fase, de descoberta de agente, envolve a estação móvel, o agente externo e o agente nativo. A segunda fase, o registro, também envolve a estação móvel e os dois agentes. Finalmente, na terceira fase, a estação remota também está envolvida. Cada fase é discutida separadamente.

Descoberta de agente

A primeira fase na comunicação móvel, a *descoberta de agente*, é composta por duas subfases. Uma estação móvel deve descobrir (determinar o endereço de) um agente nativo antes de deixar a sua rede nativa. Ele precisa também descobrir um agente externo depois de ter se movido para uma rede externa. Essa descoberta consiste em determinar o endereço de tratamento, bem como o endereço do agente externo. A descoberta envolve dois tipos de mensagens: anúncio e solicitação.

Anúncio de agente

Quando um roteador anuncia a sua presença em uma rede usando uma mensagem ICMP de anúncio de roteador, ele pode concatenar um *anúncio de agente* ao pacote caso atue como um agente. A Figura 6.55 mostra como um anúncio do agente é enviado juntamente com o pacote de anúncio de roteador.

Mensagem de anúncio ICMP			
Tipo	Comprimento	Número de sequência	
		Código	Reservado
Tempo de vida		Endereço de tratamento (apenas no caso de agentes externos)	

Figura 6.55 Anúncio de agente.

O IP móvel não usa um novo tipo de pacote para o anúncio de agentes, mas, sim, o pacote ICMP de anúncio de roteador, concatenando uma mensagem de anúncio de agente.

As descrições dos campos são as seguintes:

- ▶ **Tipo.** O campo de tipo, de 8 bits, tem o valor fixo 16.
- ▶ **Comprimento.** O campo de comprimento, de 8 bits, especifica o comprimento total da mensagem de extensão (não o comprimento da mensagem de anúncio ICMP).
- ▶ **Número de sequência.** O campo de número de sequência, de 16 bits, contém o número da mensagem. O destinatário pode usar o número de sequência para determinar se alguma mensagem foi perdida.
- ▶ **Tempo de vida.** O campo de tempo de vida especifica o número de segundos durante o qual o agente aceitará solicitações. Se o valor for uma sequência de bits 1, o tempo de vida é infinito.
- ▶ **Código.** O campo de código é um campo de 8 bits contendo indicadores, sendo que cada bit assume o valor ativo (1) ou inativo (0). Os significados dos bits são mostrados na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 Bits de código.

Bit	Significado
0	Registro necessário. Endereços de tratamento co-localados não são permitidos.
1	O agente está ocupado e não está aceitando registros neste momento.
2	O agente atua como um agente nativo.
3	O agente atua como um agente externo.
4	O agente usa encapsulamento mínimo.
5	O agente usa Encapsulamento de Roteamento Genérico (GRE – Generic Routing Encapsulation).
6	O agente suporta compressão de cabeçalho.
7	Não utilizado (?).

- **Endereços de tratamento.** Este campo contém uma lista de endereços disponíveis para uso como endereços de tratamento. A estação móvel pode escolher um deles. A seleção desse endereço de tratamento é anunciada no pedido de registro. Perceba que esse campo é usado apenas por agentes externos.

Solicitação de agente

Quando uma estação móvel se move para uma nova rede, mas não recebe anúncios de agente, ela pode iniciar uma *solicitação de agente* e pode usar a mensagem ICMP de solicitação de roteador para informar um agente de que precisa de ajuda.

O IP móvel não usa um novo tipo de pacote para a solicitação de agente; mas, sim, o pacote ICMP de solicitação de roteador.

Registro

A segunda fase na comunicação móvel é o *registro*. Depois que a estação móvel se moveu para uma rede externa e descobriu o agente externo, ela deve se registrar. Existem quatro aspectos no registro:

1. A estação móvel deve se registrar junto ao agente externo.
2. A estação móvel deve se registrar junto ao seu agente nativo. Isto normalmente é feito pelo agente externo em nome da estação móvel.
3. A estação móvel deve renovar o registro se ele expirar.
4. A estação móvel deve cancelar seu registro quando ela voltar para sua rede nativa.

Pedido e resposta

Para efetuar o registro junto ao agente externo e ao agente nativo, a estação móvel usa mensagens de pedido de registro e de resposta ao registro, conforme mostra a Figura 6.54.

Pedido de registro Um pedido de registro é enviado por uma estação móvel ao agente externo para registrar seu endereço de tratamento e também para anunciar seu endereço nativo e o endereço do agente nativo. O agente externo, após receber e registrar o pedido, encaminha a mensagem para o agente nativo. Perceba que este agora sabe o endereço do agente externo porque o pacote IP, envolvido no encaminhamento, carrega o endereço IP do agente externo como endereço de origem. A Figura 6.56 mostra o formato do pedido de registro.

Tipo	Indicadores	Tempo de vida
	Endereço nativo	
	Endereço do agente nativo	
	Endereço de tratamento	
	Identificação	
	Extensões ...	

Figura 6.56 Formato da mensagem de pedido de registro.

As descrições dos campos são apresentadas a seguir:

- **Tipo.** O campo de tipo, de 8 bits, especifica o tipo da mensagem. Para uma mensagem de pedido, o valor desse campo é 1.

- **Marcaadores (flags).** O campo de indicadores, de 8 bits, especifica as informações de encaminhamento. O valor de cada bit pode ser 0 ou 1. O significado de cada bit é mostrado na Tabela 6.7.

Bit	Significado
0	Estação móvel pede que o agente nativo conserve seu antigo endereço de tratamento.
1	Estação móvel pede que o agente nativo lhe repasse qualquer mensagem de broadcast.
2	Estação móvel está usando um endereço de tratamento coalhado.
3	Estação móvel pede que o agente nativo use encapsulamento mínimo.
4	Estação móvel pede que seja usado Encapsulamento de Roteamento Genérico (GRE).
5	Estação móvel pede que seja realizada compressão de cabeçalho.
6-7	Bits reservados.

- **Tempo de vida.** Campo que especifica o número de segundos durante o qual o registro é válido. Se o campo for uma sequência de 0s, a mensagem de pedido está requisitando um cancelamento de registro. Se for uma sequência de 1s, o tempo de vida é infinito.
- **Endereço nativo.** Campo que contém o endereço permanente da estação móvel (seu primeiro endereço).
- **Endereço do agente nativo.** Campo que contém o endereço do agente nativo.
- **Endereço de tratamento.** Campo que corresponde ao endereço temporário da estação móvel (seu segundo endereço).
- **Identificação.** Campo que contém um número de 64 bits inserido pela estação móvel no pedido e repetido na mensagem de resposta. Ele identifica a resposta correspondente a um pedido.
- **Extensões.** As extensões de comprimento variável são usadas para autenticação. Elas permitem que um agente nativo autentique o agente móvel. Discutimos autenticação no Capítulo 10.

Resposta ao registro Uma resposta ao registro é enviada pelo agente nativo para o agente externo e, então, encaminhada à estação móvel. A resposta confirma a aceitação ou informa a recusa do pedido de registro. A Figura 6.57 mostra o formato da mensagem de resposta ao registro.

Tipo	Código	Tempo de vida
	Endereço nativo	
	Endereço do agente nativo	
	Identificação	
	Extensões ...	

Figura 6.57 Formato da mensagem de resposta ao registro.

Os campos são semelhantes àqueles do pedido de registro, com as seguintes exceções. O valor do campo de tipo é 3. O campo de código substitui o campo de indicadores e contém o resultado do pedido de registro (aceitação ou recusa). O endereço de tratamento não precisa ser incluído na mensagem.

Encapsulamento

Mensagens de registro são encapsuladas em um datagrama de usuário UDP. Agentes usam a porta bem conhecida 434⁴; estações móveis usam uma porta efêmera.

Pedidos de registro e respostas ao registro são enviados via UDP usando a porta bem conhecida 434.

Transferência de dados

Após as fases de descoberta de agente e de registro, uma estação móvel pode se comunicar com uma estação remota. A Figura 6.58 ilustra a ideia.

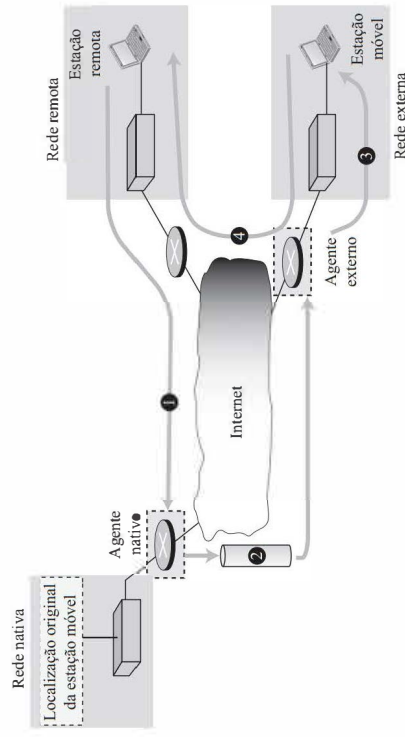


Figura 6.58 Transferência de dados.

Da estação remota até o agente nativo

Quando uma estação remota quer enviar um pacote para a estação móvel, a remota usa seu próprio endereço como o endereço de origem e o endereço nativo da estação móvel como o de destino. Em outras palavras, a estação remota envia um pacote como se a estação móvel estivesse em sua rede nativa. Ele, no entanto, é interceptado pelo agente nativo, que age como se fosse a estação móvel. Isto é feito usando uma técnica conhecida como *proxy ARP*⁴. O caminho 1 na Figura 6.58 ilustra essa etapa.

⁴ N. de T.: Na técnica de *proxy ARP*, um dispositivo em uma rede responde a um pedido ARP para um endereço de rede que não esteja naquela rede. Esse dispositivo conhece o local para onde o tráfego deve ser encaminhado, e oferece seu próprio endereço MAC na resposta, como se dissesse “me envie os dados e eu os encaminharei para o destino correto”.

Do agente nativo até o agente externo

Após receber o pacote, o agente nativo o envia para o agente externo, usando o conceito de tunelamento discutido no Capítulo 4. O agente nativo encapsula o pacote IP inteiro dentro de outro pacote IP usando seu próprio endereço como endereço de origem e o endereço do agente externo como endereço de destino. O caminho 2 na Figura 6.58 ilustra esse passo.

Do agente externo até a estação móvel

Quando o agente externo recebe o pacote, ele recupera o pacote original. Entretanto, como o endereço de destino dele corresponde ao endereço nativo da estação móvel, o agente externo consulta uma tabela de registro para determinar o endereço de tratamento da estação móvel. Se isto não fosse feito, o pacote seria simplesmente enviado de volta para a rede nativa. O pacote é, então, enviado para o endereço de tratamento. O caminho 3 na Figura 6.58 ilustra esse passo.

Da estação móvel até a estação remota

Quando uma estação móvel deseja enviar um pacote para uma estação remota (por exemplo, uma resposta para o pacote que ela recebeu), ela envia o pacote normalmente. A estação móvel prepara um pacote com seu endereço nativo como endereço de origem e com o endereço da estação remota como o endereço de destino. Embora o pacote venha da rede externa, ele apresenta o endereço nativo da estação móvel. O caminho 4 na Figura 6.58 ilustra esse passo.

Transparência

Nesse processo de transferência de dados, a estação remota não toma conhecimento de qualquer movimentação da estação móvel. A estação remota envia pacotes usando o endereço nativo da estação móvel como endereço de destino; ela recebe pacotes cujo endereço de origem é o endereço nativo da estação móvel. A movimentação é totalmente transparente. O restante da Internet não fica ciente da mobilidade de uma estação que esteja se movendo.

A movimentação da estação móvel é transparente para o restante da Internet.

6.3.4 Ineficiência no IP móvel

A comunicação envolvendo o IP móvel pode ser ineficiente. A ineficiência pode ser intensa ou moderada. O caso intenso é denominado *double crossing*, *travessia dupla* ou 2X. O caso moderado é denominado *roteamento triangular*.

Travessia dupla

A *travessia dupla* ocorre quando uma estação remota se comunica com uma estação móvel que está visitando a rede (ou sub-rede) daquela estação remota (ver Figura 6.59).

Quando a estação móvel envia um pacote para a estação remota, não há ineficiência; a comunicação é local. Entretanto, quando a estação remota envia um pacote para a estação móvel, o pacote passa pela Internet duas vezes.

Como um computador normalmente se comunica com outros computadores locais (princípio da localidade), a ineficiência da travessia dupla é significativa.

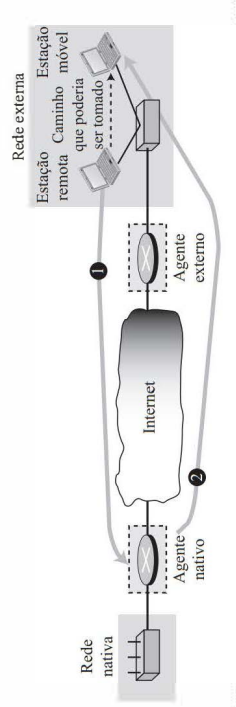


Figura 6.59 Travessia dupla.

Roteamento triangular

O **roteamento triangular**, o caso menos grave, ocorre quando a estação remota se comunica com uma estação móvel que não está conectada à mesma rede (ou sub-rede) que a estação remota. Quando a estação móvel envia um pacote para a estação remota, não há ineficiência. Entretanto, quando a estação remota envia um pacote para a estação móvel, o pacote vai da estação remota até o agente nativo e é, então, enviado para a estação móvel. O pacote viaja os dois lados de um triângulo, em vez de apenas um lado (ver Figura 6.60).

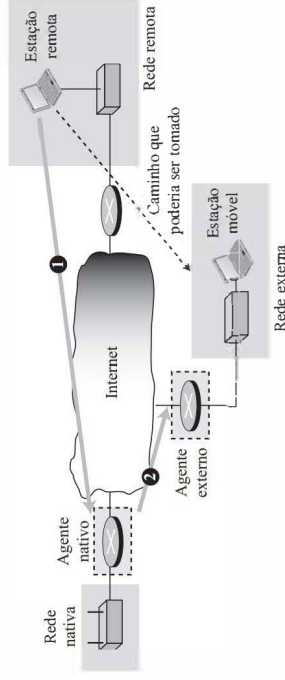


Figura 6.60 Roteamento triangular.

Solução

Uma solução para ineficiências é fazer a estação remota associar o endereço de tratamento ao endereço nativo de uma estação móvel. Por exemplo, quando um agente nativo recebe o primeiro pacote destinado a uma estação móvel, ele o encaminha para o agente externo; poderia também enviar um **pacote de atualização de associação** para a estação remota, para que futuros pacotes destinados à estação móvel possam ser enviados ao endereço de tratamento. A estação remota pode manter essas informações em uma unidade de armazenamento temporário.

O problema com essa estratégia é que a entrada armazenada pela estação remota pode ficar desatualizada quando a estação móvel mudar de rede. Nesse caso, o agente nativo precisa enviar um **pacote de aviso** para a estação remota com o objetivo de informá-la dessa mudança.

6.4 MATERIAL DO FINAL DO CAPÍTULO

6.4.1 Leitura adicional

Para mais detalhes sobre os assuntos discutidos neste capítulo, recomendamos os seguintes livros e RFCs. Os itens entre colchetes [...] referem-se à lista de referências no final do texto.

Livros

Diversos livros abordam questões discutidas neste capítulo, incluindo [Sch 03], [Cas 02], [For 03], [Sta 04], [Sta 02], [Kei 02], [Jam 03], [AZ 03], [Tan 03], [Com 06], [G & W 04] e [PD 03].

RFCs

Diversas RFCs discutem o IP móvel em particular: RFC 1701, RFC 2003, RFC 2004, RFC 3024, RFC 3344 e RFC 3775.

6.4.2 Termos-chave

- Acesso Múltiplo por Divisão de Código (CDMA – Code Division Multiple Access)
- Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência (FDMA – Frequency-Division Multiple Access)
- Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo (TDMA – Time-Division Multiple Access)
- agente externo (*foreign agent*)
- agente nativo (*home agent*)
- AMPS digital (D-AMPS)
- antena de Múltiplas Entradas e Múltiplas Saídas (MIMO – Multiple-Input Multiple-Output)
- antena MIMO multiusuário (MU-MIMO)
- área de cobertura
- Bluetooth
- canalização
- CDMA Multiplicadora (MC-CDMA – Multi-Carrier CDMA)
- Central de Comunicação Móvel (MSC – Mobile Switching Center)
- Chaveamento de Código Complementar (CCK – Complementary Code Keying)
- Comunicação para Internet Móvel 2000 (IIMT-2000 – Internet Mobile Communication 2000)
- Conjunto Básico de Serviços (BSS – Basic Service Set)
- Conjunto Estendido de Serviços (ESS – Extended Service Set)
- endereço de tratamento (*care-of address*)
- endereço de tratamento coaloado (*collocated care-of address*)
- endereço nativo (*home address*)
- Enlace Assíncrono Sem Conexão (ACL – Asynchronous Connectionless Link)
- Enlace Síncrono Orientado a Conexão (SCO – Synchronous Connection-Oriented)
- Equipamento nas Instalações do Cliente (CPE – Customer Premises Equipment)
- Espaço Curto Entre Quadros (SIFS – Short Interframe Space)
- Espaço entre Quadros (IFS – Interframe Space)
- Espaço entre Quadros DCF (DIFS – DCF Interframe Space)
- Espalhamento Espectral por Saltos em Frequências (FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum)
- Espalhamento Espectral por Sequência Direta (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum)
- Espalhamento Espectral por Sequência Direta de Alta Taxa (HR-DSSS – High-Rate Direct-Sequence Spread Spectrum)
- estação fixa
- estação móvel
- fator de reuso
- FDMA Intercalado (FDMA – Interleaved FDMA)
- FDMA ortogonal (OFDMA – Orthogonal FDMA)
- Função de Coordenação Distribuída (DCF – Distributed Coordination Function)
- Função de Coordenação Pontual (PCF – Point Coordination Function)
- Globalstar

- interoperabilidade mundial para acesso por micro-ondas (WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access)
- Iridium
- mobilidade sem transição
- Modulação por Posição de Pulso (PPM – Pulse Position Modulation)
- Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais (OFDM – Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)
- Órbita Terrestre Baixa (LEO – Low-Earth-Orbit)
- Órbita Terrestre Geostacionária (GEO – Geostationary Earth Orbit)
- Órbita Terrestre Média (MEO – Medium-Earth-Orbit)
- Padrão Provisório 95 (IS-95 – Interim Standard 95)
- *piconet*
- Ponto de Acesso (AP – Access Point)
- Protocolo de Adaptação e Controle de Enlace Lógico (L2CAP – Logical Link Control and Adaptation Protocol)
- quadro de sinalização (*beacon frame*)
- Rádio Definido por Software (SDR – Software Defined Radio)
- rede *ad hoc*
- rede externa (*foreign network*)
- rede nativa (*home network*)
- rede pessoal (PAN – Personal Area Network)
- *roaming*
- roteamento triangular
- OFDMA escalável (SOFDMA – Scalable OFDMA)
- *scatternet*
- Sistema Avançado de Telefonia Móvel (AMPS – Advanced Mobile Phone System)
- Sistema de Antenas Adaptativas (AAS – Adaptive Antenna System)
- Sistema de Posicionamento Global (GPS – Global Positioning System)
- Sistema de Telecomunicações Móveis Universal (UMTS – Universal Mobile Telecommunications System)
- Sistema Global para Comunicações Móveis (GSM – Global System for Mobile Communication)
- Tabela de Walsh
- TDMA com Duplexação por Divisão de Tempo (TDD-TDMA – Time-Division Duplex TDMA)
- Teledeisc
- telefonia celular
- transferência (*bandwidth*)
- travessia dupla (*double crossing*)
- triangulação
- trilateração
- Veror de Alocação de Rede (NAV – Network Allocation Vector)

6.4.3 Resumo

As LANs sem fio foram formalizadas com o padrão IEEE 802.11, que define dois serviços: Conjunto Básico de Serviços (BSS – Basic Service Set) e Conjunto Estendido de Serviços (ESS – Extended Service Set). O método de acesso usado na subcamada MAC denominada Função de Coordenação Distribuída (DCF – Distributed Coordination Function) é o CSMA/CA. O método de acesso usado na subcamada MAC denominado Função de Coordenação Pontual (PCF – Point Coordination Function) é a técnica de varredura. O Bluetooth é uma tecnologia de LAN sem fio que conecta dispositivos (conhecidos como *gateways*) em uma pequena área. Uma rede Bluetooth é denominada uma *piconet*. O WiMAX é uma rede de acesso sem fio, que no futuro pode substituir redes DSL e a cabo.

A telefonia celular permite a comunicação entre dois dispositivos. É possível que ambos sejam móveis ou que apenas um deles o seja. Uma área de serviço celular é dividida em células. O Sistema Avançado de Telefonia Móvel (AMPS – Advanced Mobile Phone System) é um sistema de telefonia celular da primeira geração. O AMPS Digital (D-AMPS – Digital AMPS) é um sistema de telefonia celular da segunda geração que consiste em uma versão digital do AMPS. O Sistema Global para Comunicações Móveis (GSM – Global System for Mobile Communication) é um sistema de telefonia celular da segunda geração que surgiu na Europa. O Padrão Provisório 95 (IS-95 – Interim Standard 95) é um sistema de telefonia celular da segunda geração baseado nas tecnologias CDMA e DSSS. Os sistemas de telefonia celular da terceira geração fornecem comunicação pessoal universal. A quarta geração é a nova geração da telefonia celular que está se tornando popular.

Uma rede de satélites utiliza satélites para fornecer comunicação entre quaisquer pontos da Terra. Uma órbita terrestre geostacionária (GEO – Geostationary Earth Orbit) fica no plano equatorial e gira em fase com a rotação da Terra. O Sistema de Posicionamento Global (GPS – Global Positioning System) consiste em satélites MEO (*Medium-Earth-Orbit*), ou Órbita Terrestre Média, que fornecem informações de tempo e localização para veículos e embarcações. Os satélites Iridium são satélites LEO (*Low-Earth-Orbit*, ou Órbita Terrestre Baixa) que fornecem comunicações diretas e universais de voz e de dados para terminais portáteis. Os satélites Teledeisc são satélites LEO que fornecerão acesso universal à Internet de banda larga.

O IP móvel, projetado para comunicação móvel, é uma versão melhorada do protocolo IP. Uma estação móvel tem um endereço nativo (*home address*) em sua rede nativa e um endereço de tratamento (*care-of address*) na rede externa (rede visitada). Quando a estação móvel está na rede externa, um agente nativo (*home agent*) encaminha mensagens (destinadas à estação móvel) para um agente externo (*foreign agent*). Um agente externo envia as mensagens encaminhadas para a estação móvel correspondente.

6.5 ATIVIDADES PRÁTICAS

6.5.1 Testes

Diversos testes interativos relativos a este capítulo podem ser encontrados no site www.mhhe.com/forouzan. Recomendamos que o estudante realize os testes para verificar o seu entendimento do material apresentado antes de continuar com as atividades práticas.

Questões

- 6-1** Compare o meio de transmissão de uma LAN com fio com o de uma LAN sem fio considerando o ambiente atual de comunicações.
- 6-2** Explique por que o protocolo MAC é mais importante em LANs sem fio do que em LANs com fio.
- 6-3** Explique por que há mais atenuação em uma LAN sem fio do que em uma LAN com fio, ignorando o ruído e a interferência.
- 6-4** Por que a relação sinal/ruído (denotada S/R ou SNR) em uma LAN sem fio é normalmente inferior àquela em uma LAN com fio?
- 6-5** O que é propagação por múltiplos caminhos? Qual é o seu efeito sobre redes sem fio?
- 6-6** Explique algumas das razões pelas quais o CSMA/CD não pode ser usado em uma LAN sem fio.
- 6-7** Liste algumas estratégias do CSMA/CA que são usadas para evitar colisões.
- 6-8** Em uma LAN sem fio, é atribuído à estação A um valor de IFS = 5 milissegundos e à estação B é atribuído um valor de IFS = 7 milissegundos. Qual estação tem uma prioridade maior? Explique.
- 6-9** Não há um mecanismo de confirmação de recepção de pacotes no CSMA/CD, porém precisamos de tal mecanismo no CSMA/CA. Explique a razão.
- Para que serve o NAV no CSMA/CA?
- Explique por que a fragmentação é recomendada em uma LAN sem fio.
- 6-12** Explique por que existe apenas um tipo de quadro em uma LAN com fio, porém quatro tipos de quadros em uma LAN sem fio.
- 6-13** Os endereços MAC usados no 802.3 (Ethernet com fio) e os endereços MAC usados no 802.11 (Ethernet sem fio) pertencem a dois espaços de endereços diferentes?
- 6-14** Um AP pode conectar uma rede sem fio a uma rede com fio. ● AP precisa ter dois endereços MAC, nesse caso?
- 6-15** Um AP em uma rede sem fio desempenha o mesmo papel que um *switch* da camada de

enlace em uma rede com fio. No entanto, um *switch* da camada de enlace não apresenta um endereço MAC, enquanto um AP normalmente precisa de um endereço MAC. Explique a razão para isso.

6-16 Qual é a razão pela qual o Bluetooth é normalmente denominado uma rede pessoal sem fio (WPAN) e não uma rede local sem fio (WLAN)?

6-17 Compare uma *piconet* e uma *scatternet* na arquitetura Bluetooth.

6-18 Uma *piconet* pode ter mais do que oito estações? Explique.

6-19 Qual é a largura de banda efetivamente utilizada para comunicação em uma rede Bluetooth?

6-20 Qual é o papel da camada de *radio* no Bluetooth?

6-21 Preencha os espaços em branco. A largura de banda de 83,5 MHz do Bluetooth é dividida em _____ canais, cada um apresentando _____ MHz.

6-22 Qual é a técnica de espalhamento espectral utilizada pelo Bluetooth?

6-23 Qual é a técnica de modulação usada na camada de rádio do Bluetooth? Em outras palavras, como os dados digitais (*bits*) são transformados em sinais analógicos (ondas de rádio)?

6-24 Qual protocolo MAC é usado na camada de banda base do Bluetooth?

6-25 Qual é o papel da camada *L2CAP* no Bluetooth?

6-26 Em qual método de canalização as estações compartilham a largura de banda disponível em um canal no domínio do tempo?

a. FDMA b. TDMA c. CDMA

6-27 Em qual método de canalização as estações compartilham a largura de banda disponível em um canal no domínio das frequências?

a. FDMA b. TDMA c. CDMA

Problemas

6-1 Em uma rede 802.11, escreva o valor do campo “endereço 1” em cada uma das seguintes situações (o *bit* à esquerda indica *Para o DS* e o *bit* à direita indica *Do DS*).

- a. 00 b. 01 c. 10 d. 11

6-28 Em qual método de canalização as estações recebem códigos diferentes?

- a. FDMA b. TDMA c. CDMA

6-29 Considere que dois usuários de telefonia celular utilizam FDMA para a comunicação. Se for alocada uma banda de frequências diferente para cada estação, como as duas estações podem se comunicar uma com a outra?

6-30 No TDMA, se for alocada uma parcela de tempo diferente para cada estação, como duas estações podem se comunicar uma com a outra?

6-31 No CDMA, se for alocado um código diferente para cada estação, como duas estações podem se comunicar uma com a outra?

6-32 Suponha que existam oito estações em um sistema usando CDMA. Qual é o valor dos seguintes produtos internos de códigos?

- a. $c_1 \cdot c_1$ b. $c_1 \cdot c_2$ c. $c_4 \cdot c_1$

6-33 Qual é o número de sequências no CDMA para cada um dos seguintes sistemas com o número de estações dado?

- a. 8 estações b. 12 estações

6-34 Quantos códigos possíveis de tamanho 4 podem ser criados? Quantos deles são ortogonais?

6-35 A qual geração cada um dos seguintes sistemas de telefonia celular pertence?

- a. AMPS b. D-AMPS c. IS-95

6-36 No IP móvel, o registro é necessário se a estação móvel atuar como um agente externo? Explique sua resposta.

6-37 Discuta como a mensagem ICMP de solicitação de roteador pode ser usada para a solicitação de agente.

6-38 Explique por que o pedido de registro e a resposta ao registro não são diretamente encapsulados em um datagrama IP. Por que é necessário usar um datagrama de usuário UDP?

6-2 Em uma rede 802.11, escreva o valor do campo “endereço 2” em cada uma das seguintes situações (o *bit* à esquerda indica *Para o DS* e o *bit* à direita indica *Do DS*).

- a. 00 b. 01 c. 10 d. 11

6-3 Em uma rede 802.11, escreva o valor do campo “endereço 3” em cada uma das seguintes situações (o *bit* à esquerda indica *Para o DS* e o *bit* à direita indica *Do DS*).

- a. 00 b. 01 c. 10 d. 11

6-4 Em uma rede 802.11, escreva o valor do campo “endereço 4” em cada uma das seguintes situações (o *bit* à esquerda indica *Para o DS* e o *bit* à direita indica *Do DS*).

- a. 00 b. 01 c. 10 d. 11

6-5 Em um BSS sem um AP (uma rede *ad hoc*), há cinco estações: A, B, C, D e E. A estação A precisa enviar uma mensagem para a estação B. Responda às seguintes perguntas, considerando que a rede está usando o protocolo DCF e *Do DS* nos quadros trocados?

- a. Quais são os valores dos *bits Para o DS* e *Do DS* nos quadros trocados?
- b. Qual estação envia o quadro RTS e quais são os valores dos campos de endereço nesse quadro?
- c. Qual estação envia o quadro CTS e quais são os valores dos campos de endereço nesse quadro?
- d. Qual estação envia o quadro de dados e quais são os valores dos campos de endereço nesse quadro?

6-6 Na Figura 6.61, duas redes sem fio, BSS1 e BSS2, estão conectadas por meio de um Sistema de Distribuição (DS - Distribution System) com fio, uma LAN Ethernet. Considere que a estação A no BSS1 precisa enviar um quadro de dados para a estação C no BSS2. Mostre o valor dos endereços nos quadros 802.11 e 802.3 para as três transmissões: da estação A para o AP1, do AP1 para o AP2 e do AP2 para a estação C. Preencha os campos vazios.

6-7 Repita o problema anterior (Figura 6.61), mas considerando que o DS também é sem fio. O AP1 está conectado ao AP2 por meio de um canal sem fio. Mostre o valor dos endereços em todas as seções da comunicação: da estação A para o AP1, do AP1 para o AP2 e do AP2 para a estação C.

6-8 Considere que um quadro se desloca de uma rede com fio usando o protocolo 802.3 para uma rede sem fio usando o protocolo 802.11. Mostre como os valores dos campos do quadro 802.11 são preenchidos com os valores do quadro 802.3. Considere que a transformação ocorre no AP que está na fronteira entre as duas redes.

6-9 Considere que um quadro se desloca de uma rede sem fio usando o protocolo 802.11 para uma rede com fio usando o protocolo 802.3. Mostre como os valores dos campos do quadro 802.3 são preenchidos com os valores do quadro 802.11. Considere que a transformação ocorre no AP que está na fronteira entre as duas redes.

6-10 Considere que duas redes sem fio 802.11 estejam conectadas ao restante da Internet por meio de um roteador, conforme mostra a Figura 6.62. O roteador recebeu um datagrama IP cujo endereço de destino é 24.12.7.1, e precisa enviá-lo para a estação sem fio correspondente. Explique o processo e descreva como os valores dos campos *endereço 1*, *endereço 2*, *endereço 3* e *endereço 4* (ver Figura 6.62) são determinados nesse caso.

6-11 Na Figura 6.62 (problema anterior), considere que a estação cujo endereço IP é 24.12.10.3 precisa enviar um datagrama IP para a estação cujo endereço IP é 128.41.23.12, a qual

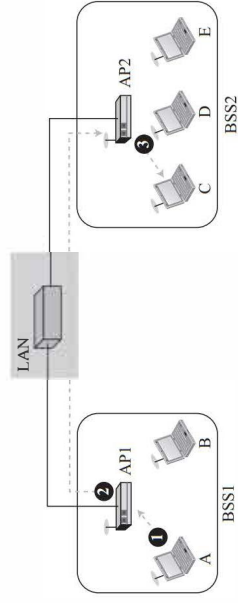


Figura 6.61 Esquema para o Problema 6-6.

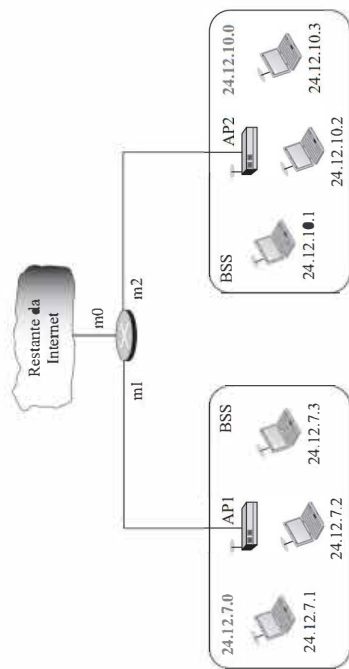


Figura 6.62 Esquema para o Problema P6-10.

se encontra em algum lugar do mundo (não mostrado na figura). Explique o processo e mostre como os valores dos campos *endereço 1*, *endereço 2*, *endereço 3* e *endereço 4* (ver Figura 6.62) são determinados nesse caso.

6-12 Um identificador de BSS (BSSID) é um endereço de 48 bits atribuído a um BSS em uma rede 802.11. Pesquise e descubra qual é o uso do BSSID e como os BSSIDs são atribuídos em redes *ad hoc* e infraestruturadas.

6-13 Pesquise e descubra como o controle de fluxo e de erros é feito em uma rede 802.11 usando a subcamada MAC DCF.

6-14 Em uma comunicação 802.11, o tamanho da carga útil (o corpo do quadro) é de 1.200 bytes. A estação decide dividir o quadro em três fragmentos, cada um contendo 400 bytes da carga útil. Responda as seguintes perguntas:

- Qual seria o tamanho do quadro de dados se a fragmentação não fosse feita?
- Qual é o tamanho de cada quadro após a fragmentação?
- Quanto *bytes* no total são enviados após a fragmentação (ignorando os quadros de controle extras)?
- Quanto *bytes* extras são enviados por causa da fragmentação (novamente, ignorando quadros de controle extras)?

6-15 Tanto o protocolo IP como o projeto 802.11 fragmentam seus pacotes. O IP fragmenta um datagrama na camada de rede; o 802.11 fragmenta um quadro na camada de enlace de dados. Discuta semelhanças e diferenças en-

tre os dois esquemas de fragmentação, considerando os diferentes campos e subcampos utilizados em cada protocolo.

6-16 Em uma rede 802.11, suponha que a estação A tem quatro fragmentos para enviar à estação B. Se o número de sequência escolhido para o primeiro fragmento for 3273, quais são os valores do indicador de *mais fragmentos*, do *número do fragmento* e do *número de sequência*?

6-17 Em uma rede 802.11, a estação A envia um quadro de dados (não fragmentado) para a estação B. Qual o valor do campo *D* (em microssegundos) que precisa ser usado para definir o período de NAV em cada um dos seguintes quadros: RTS, CTS, dados e ACK? Considere que o tempo de transmissão para os quadros de RTS, CTS e ACK seja de 4 µs cada. O tempo de transmissão para o quadro de dados é de 40 µs e a duração do SIFS é ajustada em 1 µs. Ignore o tempo de propagação. Perceba que cada quadro deve empregar uma duração do NAV correspondente ao restante do tempo que o meio físico precisa ser reservado para completar a transação.

6-18 Em uma rede 802.11, a estação A envia dois fragmentos de dados para a estação B. Qual é o valor do campo *D* (em microssegundos) que precisa ser usado para definir o período de NAV em cada um dos seguintes quadros: RTS, CTS, dados e ACK? Considere que o tempo de transmissão para os quadros de RTS, CTS e ACK seja de 4 µs cada. O tempo de transmissão de cada fragmento é de 20 µs e a duração do SIFS é ajustada em 1 µs.

Ignore o tempo de propagação. Perceba que cada quadro deve empregar uma duração do NAV correspondente ao restante do tempo que o meio físico precisa ser reservado para completar a transação.

6-19 Em uma rede 802.11, três estações (*A*, *B* e *C*) estão disputando pelo acesso ao meio. A janela de contenção para cada estação tem 31 parcelas de tempo. A estação *A* aleatoriamente seleciona a primeira parcela; a estação *B* fica com a quinta parcela; a estação *C* fica com a vigésima primeira parcela. Mostre o procedimento que cada estação deve seguir.

6-20 Em uma rede 802.11, há três estações, *A*, *B* e *C*. A estação *C* está escondida de *A*, mas pode ser vista por *B* (encontre-se na área de alcance do seu rádio). Considere, então, que a estação *A* queira enviar dados para a estação *B*. Como *C* está escondida de *A*, o quadro RTS não consegue chegar até *C*. Explique como a estação *C* pode descobrir que o canal está bloqueado por *A* e que ela deve se abster de transmitir dados.

6-21 Uma rede 802.11 pode usar quatro Espaços entre Quadros (IFSs – Interframe Spaces) para atrasar a transmissão de um quadro em diferentes situações. Isto permite que as transmissões de baixa prioridade aguardem as transmissões de alta prioridade quando o canal ficar livre. Normalmente, quatro IFSs distintos são usados em aplicações diferentes, conforme mostra a Figura 6.63. Explique a utilidade desses IFSs (você pode precisar pesquisar essa informação na Internet).

6-22 Embora um quadro RTS defina o valor do tempo no qual o NAV ficará efetivo para o restante da sessão, por que o projeto 802.11 determina que outros quadros usados na sessão devem redefinir o valor do período restante do NAV?

6-23 A Figura 6.24 mostra o formato do quadro na camada-base do Bluetooth (802.15). Considerando esse formato, responda às seguintes perguntas:

- Qual é o tamanho do intervalo de endereços em uma rede Bluetooth?
- Quantas estações podem estar ativas ao mesmo tempo em uma *piconet* com base no valor obtido no item anterior?

6-24 Verifique se o seguinte conjunto de fichas pode pertencer a um sistema ortogonal.

$$[+1, +1] \quad \text{e} \quad [+1, -1]$$

6-25 Verifique se o seguinte conjunto de fichas pode pertencer a um sistema ortogonal.

$$\begin{aligned} & [+1, +1, +1, +1, +1], \\ & [-1, -1, -1, -1, -1], \\ & [-1, +1, +1, -1], \\ & [+1, -1, -1, +1] \end{aligned}$$

6-26 Alice e Bob estão realizando experimentos com o CDMA usando uma tabela de Walsh W2 (ver Figura 6.34). Alice usa o código $[+1, +1]$ e Bob usa o código $[+1, -1]$. Considere que eles enviem um dígito hexadecimal um para o outro simultaneamente. Alice envia (6)₁₆ e Bob envia (B)₁₆. Mostre como eles podem detectar o dado que a outra pessoa enviou.

6-27 Desenhe um padrão de células com um fator de reuso de frequências de 5.

6-28 Determine a eficiência do protocolo AMPS em termos do número de chamadas simultâneas por mega-hertz de largura de banda. Em outras palavras, determine o número de chamadas que podem ser feitas com uma alocação de banda de 1 MHz.

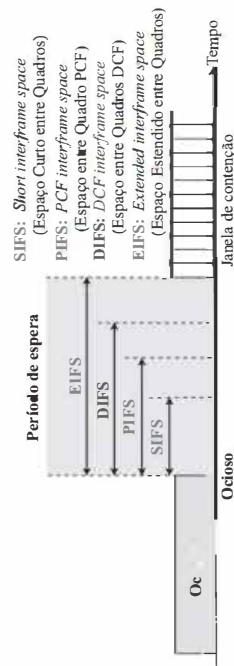


Figura 6.63 Esquema para o Problema P6-21.

6-29 Determine a eficiência do protocolo DSSS em termos do número de chamadas simultâneas por mega-hertz de largura de banda. Em outras palavras, determine o número de chamadas que podem ser feitas com uma alocação de banda de 1 MHz.

6-30 Determine a eficiência do protocolo GSM em termos do número de chamadas simultâneas por mega-hertz de largura de banda. Em outras palavras, determine o número de chamadas que podem ser feitas com uma alocação de banda de 1 MHz.

6-31 Determine a eficiência do protocolo IS-95 em termos do número de chamadas simultâneas por mega-hertz de largura de banda. Em outras palavras, determine o número de chamadas que podem ser feitas com uma alocação de banda de 1 MHz.

6-32 Use a lei de Kepler para verificar a exatidão de um dado valor de período e de altitude para satélites GPS.

6-33 Use a lei de Kepler para verificar a exatidão de um dado valor de período e de altitude para satélites Globalstar.

6-34 Redesenhe a Figura 6.58 para o caso em que a estação móvel atua como um agente externo.

6-35 Crie uma mensagem de anúncio de agente nativo usando 1456 como o valor do número de sequência e um tempo de vida de três horas. Use os valores que desejar para os bits no campo de código. Calcule e insira o valor do campo de comprimento.

6-36 Crie uma mensagem de anúncio de agente externo usando 1672 como o valor do número de sequência e um tempo de vida de três horas. Use os valores que desejar para os bits no campo de código. Utilize pelo menos três endereços de tratamento de sua escolha. Calcule e insira o valor do campo de comprimento.

6-37 Tenha as informações mostradas a seguir. Mostre o conteúdo do cabeçalho do datagrama IP enviado pela estação remota para o agente nativo.

Endereço nativo (*home address*) da estação móvel: 130.45.6.7/16
Endereço de tratamento (*care-of address*) da estação móvel: 14.56.8.9/8
Endereço da estação remota: 200.4.7.14/24
Endereço do agente nativo (*home agent*): 130.45.10.20/16
Endereço do agente externo (*foreign agent*): 14.67.34.6/8

6.6 EXPERIMENTOS DE SIMULAÇÃO

6.6.1 Applets

Criamos alguns *applets* Java para demonstrar alguns dos principais conceitos discutidos neste capítulo. Recomendamos que o estudante ative esses *applets* no site www.mhhe.com/forouzan e examine cuidadosamente os protocolos em ação.

6.6.2 Experimentos de laboratório

Veja o material de apoio no site www.grupoa.com.br e descubra como você pode usar um simulador para LANs sem fio.

Lab6-1

Neste laboratório, capturamos e estudamos quadros sem fio que são trocados entre uma estação sem fio e o ponto de acesso. Consulte o site do Grupo A para uma descrição detalhada desse experimento de laboratório.

6.7 TAREFAS DE PROGRAMAÇÃO

Escreva o código-fonte, compile e teste o programa a seguir usando a linguagem de programação de sua preferência:

Prog6-1

Escreva um programa para simular o diagrama de fluxo do CSMA/CA mostrado na Figura 6.7.