

Redes sem Fio

Tecnologia em Redes de Computadores
Prof. Macêdo Firmino

Redes IEEE 802.15.1 (Bluetooth)

IEEE 802.15.1

A idéia original do Bluetooth surgiu em 1994, quando a empresa Ericsson iniciou um estudo visando substituir os cabos que ligavam os seus celulares aos diversos acessórios existentes por meio de uma tecnologia sem fio. E deu certo!!

Em 1998, juntamente com outras quatro empresas (Intel, IBM, Toshiba e Nokia) a Ericsson fundou o Bluetooth SIG (*Special Interest Group*) com o objetivo de desenvolver um padrão sem fio para interconectar dispositivos de computação e comunicação, utilizando rádios sem fios de curto alcance, baixa potência e baixo custo

IEEE 802.15.1

Em março de 2002, o grupo de padrões da IEEE aprovou o padrão IEEE 802.15.1 para WPAN, uma adaptação da especificação Bluetooth compatível com a versão 1.1.

O padrão IEEE 802.15.1 define especificações para as camadas física (PHY) e de controle de acesso ao meio (MAC - *Medium Access Control*), para conectividade sem fio com dispositivos móveis ou fixos, dentro de um espaço de operação pessoal, cerca de 10 m, com pouco poder computacional, baixo custo e baixo consumo de energia.

Atualmente, a tecnologia Bluetooth é usada em: conexões com a impressora, teclados, caixa de som, mouse, fones de ouvido, telefones, eletrodomésticos, entre outros.

IEEE 802.15.1

Versões

- 1.0 (1999): taxa básica de 1 Mbps;
 - 1.1 (2002): melhorias na versão anterior de operabilidade;
 - 1.2 (Extended Synchronous Connections (eSCO): melhora nos enlaces de voz e AFH (salto de frequência adaptativo)
- 2.0 (2004): inclusão do EDR (Enhanced Data Rate) e taxas de até 3 Mbps;
 - 2.1 (2007): pareamento rápido e redução do consumo de energia
- 3.0 (2009): inclusão do HS (High Speed). Taxas de até 24 Mbps
- 4.0 (Junho 2010): Bluetooth Smart, Inclui Classic Bluetooth, Bluetooth High Speed e Bluetooth Low Energy (BLE). Inserindo o Bluetooth na Internet of Things;
- 5.0 (2016): aumento na velocidade para 50 Mbps e diminuir o consumo de energia

IEEE 802.15.1

Uma rede Bluetooth é uma rede *ad hoc*, *full duplex*, utiliza a multiplexação por divisão de tempo (TDM) com slots de duração de 625 μs , opera na faixa de frequência de 2,4 GHz e utiliza saltos na frequência de operação (FHSS) para combater a interferência (1600 hops/s).

Em 2016, foi lançado o Bluetooth versão 5.0. Com alcance de até 100m e taxa de até 50 Mbits/s (atualmente chega a 24 Mbits/s).

O Bluetooth tenta ser o padrão do IoT (Internet das Coisas).

IEEE 802.15.1

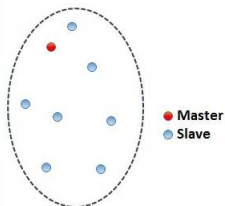
Levando em consideração o alcance dos dispositivos Bluetooth, estes são classificados em três classes:

- Classe 3: alcance de no máximo 1 metro;
- Classe 2: alcance de no máximo 10 metros;
- Classe 1: alcance de no máximo 100 metros.

Topologias

O meio físico é compartilhado por um grupo de dispositivos que estão sincronizados com o mesmo *clock* e o mesmo padrão de salto em frequência. O dispositivo que provê a sincronização é conhecido como **mestre** e todos os outros dispositivos são chamados **escravos**. Um grupo de dispositivos sincronizados forma uma *piconet*.

Toda a comunicação é feita entre o mestre e um escravo. Não é possível a comunicação direta entre escravos.



Piconet

Uma rede piconet pode ter até oito estações ativas, uma das quais é o mestre e as demais são os escravos. Pode ainda haver até 255 nós estacionários (escravos inativos) na rede.

No estado inativo, um dispositivo não pode fazer nada, exceto responder a um sinal de ativação do mestre.

Podem existir *piconets* independentes de em um mesmo espaço físico, pois diferentes *piconets* têm diferentes canais físicos (isto é, diferentes mestres e uma independência com relação a *piconet clock* e as sequências de saltos).

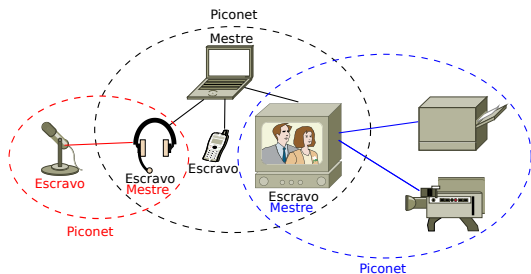
A unidade mestre comanda toda a comunicação:

- Aceitação de unidades escravo na piconet;
- Controle de sincronismo;
- Distribuição de banda na transmissão que é feita pela técnica de múltiplo acesso FH-CDMA (Frequency Hopping Code - Division Multiple Access).

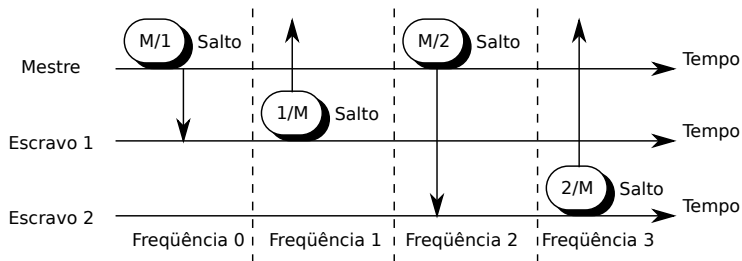
Piconet

Dispositivos podem participar de uma ou mais *piconets*, porém um dispositivo nunca pode ser mestre em mais de uma piconet.

Uma *scatternet* é o conjunto de duas ou mais *piconets*.



Comunicação



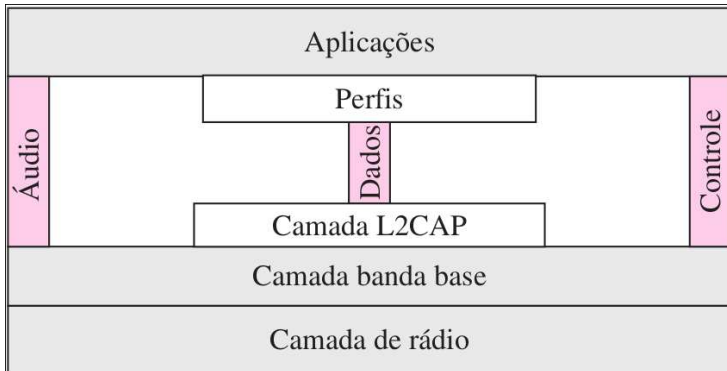
A comunicação utiliza TDM com FHSS. No TDM um *frame* pode ocupar 1, 3 ou 5 *slots-time*.

Dois tipos de enlaces podem ser criados entre um primário e um secundário: enlaces SCO e enlaces ACL.

- Um enlace SCO (*Synchronous Connection-Oriented*) é usado sempre que a latência for mais importante que a integridade dos dados. Em um enlace SCO, é criado um enlace através da reserva de slots específicos em intervalos regulares. Se um pacote for corrompido, jamais será retransmitido. O SCO é usado para aplicações de áudio em tempo real. Um secundário pode criar até três enlaces SCO com o primário.
- Um enlace ACL (*Asynchronous Connectionless Link*) é usado quando a integridade dos dados é mais importante que a latência. Nesse tipo de enlace, se um frame for corrompido, ele será retransmitido. O ACL pode usar um, três ou mais slots assíncronos.

Pilha de Protocolos

A especificação define os respectivos protocolos:



Rádio

Camada de Rádio

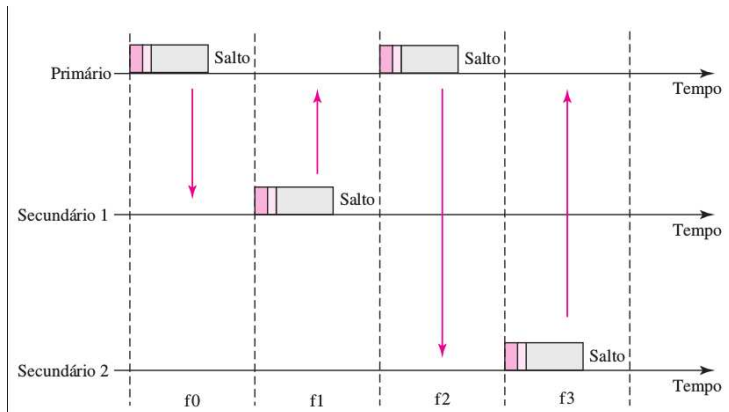
A camada de rádio equivale, a grosso modo, à camada física do modelo Internet. O Bluetooth opera na faixa de frequências ISM de 2,4 GHz divididas em 79 canais de 1 MHz cada. Usa o método de espalhamento espectral de saltos de frequência FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) na camada física para evitar interferências com outros dispositivos ou outras redes. O Bluetooth realiza 1.600 saltos de frequência por segundo. O Bluetooth usa uma versão do FSK denominada GFSK (FSK com filtragem gaussiana)

Banda Base

Camada Banda Base

A camada banda base equivale, de modo grosseiro, à subcamada MAC das redes LANs. O método de acesso é o TDD-TDMA. As estações primária e secundárias se comunicam entre si por intermédio de time-slots de $625 \mu\text{s}$. O TDD-TDMA implementa comunicação half-duplex na qual a estação secundária e o receptor transmitem e recebem dados, mas, não ao mesmo tempo. método de acesso é similar a uma operação de poll/select com o uso de reservas. Quando o primário seleciona um secundário, ele também realiza o polling. O slot seguinte é reservado para a estação secundária, que recebeu o polling, transmitir seu frame. Se o secundário não tiver frames a transmitir, o canal permanece no estado livre.

Banda Base



Camada L2CAP

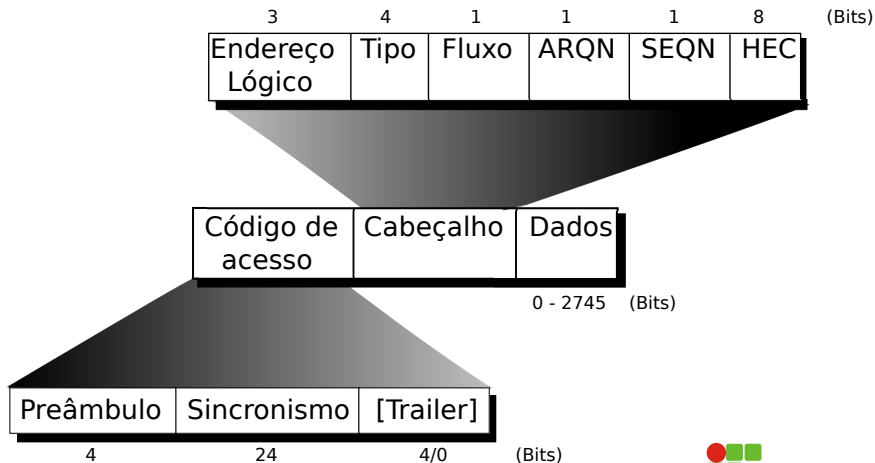
O Logical Link Control and Adaptation Protocol (L2CAP), equivale, grosso modo, à subcamada LLC das redes LANs. Ele é usado para troca de dados em um enlace assíncrono (ACL). O L2CAP implementa funções de: segmentação e remontagem, qualidade de serviço (QoS) e gerenciamento de grupos de endereçamento lógico (similar ao multicasting).

Procedimento de Acesso

Quando um dispositivo quer descobrir quais dispositivos Bluetooth estão no seu alcance, ele transmite mensagens de *inquiry* em diferentes canais de frequência. Os dispositivos habilitados a responder retornarão um pacote FHS (*Frequency Hop Synchronization*), o qual contém todas as informações necessárias para o estabelecimento de um canal físico (por exemplo, endereço e relógios do mestre);

Após selecionar um dispositivo para se comunicar, se faz necessário questionar se este suporta ou não o serviço desejado, este processo é chamado de *paging*. O dispositivo habilitado a receber solicitações de consulta, responderá com as informações necessárias sobre os serviços disponíveis.

Frame



Código de Acesso

É usado para sincronismo do receptor e identificação. Todos os quadros pertencentes ao mesmo canal físico deverão ter o mesmo Código de Acesso.

- Preâmbulo: são 4 bits usados para facilitar a sincronização (1010 ou 0101);
- Sincronismo: é composto por um código derivado dos 24 *bits* da estação primária, denominada LAP (*Lower Address Part*);
- *Trailer*: é um campo opcional, formado por 4 *bits* (1010 ou 0101), é enviado visando melhorar ainda mais a sincronização.

Frame

Cabeçalho

composto por 18 *bits* com redundância na razão 1/3, obtendo-se no final um total de 54 *bits*. A codificação é implementada repetindo cada *bit* três vezes.

- Endereço Lógico: 3 bits, pode definir até sete estações secundárias. Ele contém o endereço do escravo ao qual se destina este quadro em transmissões de mestre para escravo e apresenta o endereço do escravo que originou o quadro em transmissões de escravo para mestre. Se o endereço for zero, ele é usado como endereço de broadcast;
- Tipo: especifica o tipo do quadro (ID, NULL, POLL, FHS, etc.);

- Fluxo: esse subcampo de 1 bit destina-se ao controle de fluxo. Quando ativado (1), indica que o dispositivo está incapacitado de receber mais frames (o buffer está cheio);
- ARQN: indica a confirmação do recebimento de quadros (ACK);
- SEQN: provê uma numeração sequencial para ordenar os dados. O Bluetooth usa o método ARQ Stop-and-wait;
- HEC: utilizado para a verificação da integridade do cabeçalho (CRC - 8 bits).

Endereço de dispositivo

BD_ADDR: Endereço de 48 bits “gravado” em cada dispositivo (similar ao endereço MAC das LANs IEEE 802.xx)

