



Comunicações móveis

Bluetooth (WPAN)



Contorno

- Redes Bluetooth
- Operação piconet
 - Investigação
 - Paginação
- Pilha Bluetooth
- Perfis e segurança
- BT 4.0 BLE



Contorno

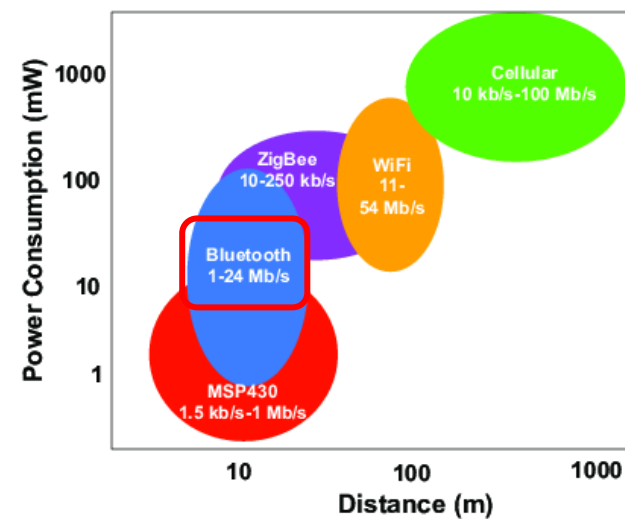
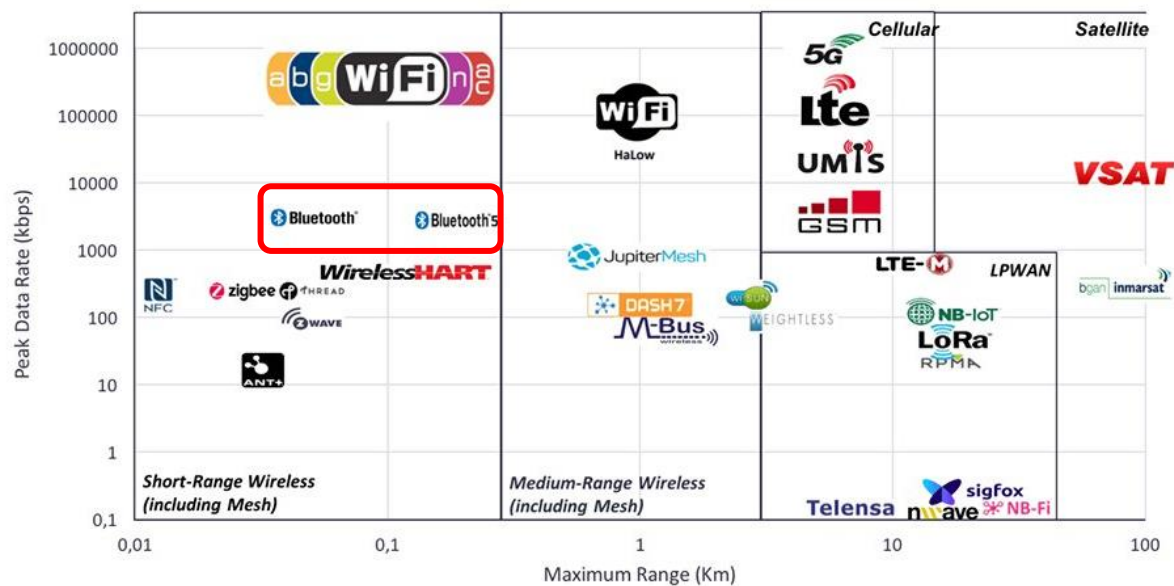
- Redes Bluetooth
- Operação piconet
 - Investigação
 - Paginação
- Pilha Bluetooth
- Perfis e segurança
- BT 4.0 BLE



Comparação entre tecnologias sem fio

Comparison Wireless technologies

Peak Data Rate vs Maximum Range



Ahmed, Mobyen & Björkman, Mats & Causevic, Aida & Fotouhi, Hossein & Lindén, Maria. (2015). Uma Visão Geral na Internet de Coisas para sistemas de monitoramento de saúde.

Tradeoff entre taxa de dados, alcance e energia



Redes de área pessoal

- Ambiente de implantação alvo: comunicação de dispositivos pessoais trabalhando juntos
 - Curto alcance
 - Baixo consumo de energia
 - Baixo custo
 - Pequeno número de dispositivos
- Padrões PAN
 - Bluetooth – Consórcios industriais (**SIG Bluetooth**)
 - IEEE 802.15.1 – baseado em “Bluetooth”
 - IEEE 802.15.2 – Interoperabilidade e coexistência
 - IEEE 802.15.3 – WPAN de alta taxa de dados (UWB)
 - IEEE 802.15.4 – WPAN de baixa taxa de dados (Zigbee,...)
 - IEEE 802.15.5 – Redes Mesh
 - IEEE 802.15.6 – Rede de Área Corporal
 - IEEE 802.15.7 – Comunicação de Luz Visível



Bluetooth

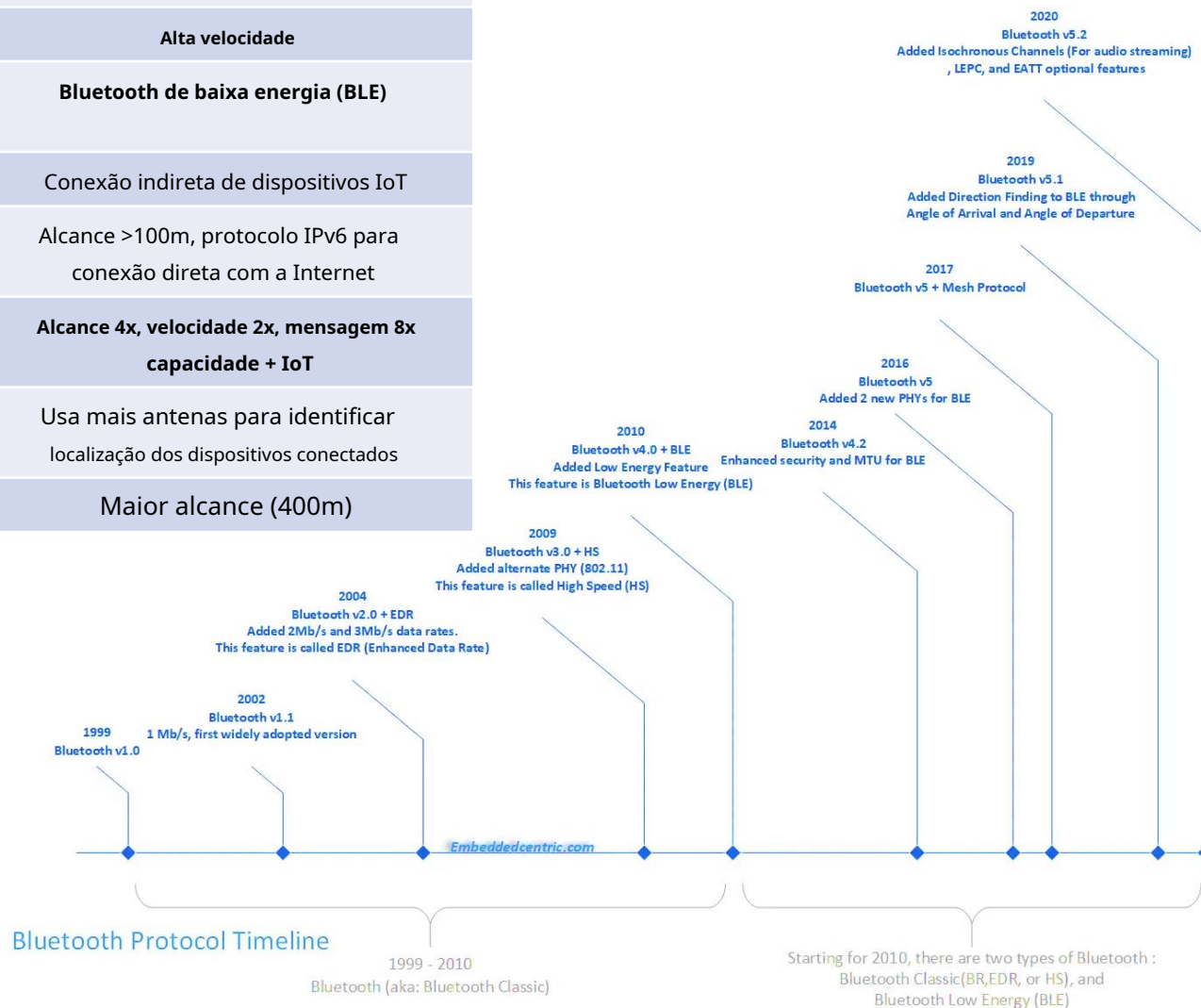
- Criado por Ericsson (1994)
- Mantido pelo Bluetooth SIG (<https://www.bluetooth.com/>)
- Originalmente para substituir “USB”, não “Ethernet”
 - Tecnologia de substituição de cabos
 - Mais tarde também usado como conexão à Internet, telefone ou fone de ouvido
- **FRIGIDEIRA** - *Rede de área pessoal*
 - Começou com conexões de 1 Mbps
 - Inclui conexões de voz síncronas, assíncronas
 - Roteamento piconet
- Rádios pequenos, de baixa potência, curto alcance, baratos e versáteis (3 classes)
- Configuração e agendamento mestre/escravo



Versões Bluetooth

Versão	Taxa de dados	Recurso
1.1	1Mbps	Primeira versão amplamente adotada
2.0 +EDR	3Mbps	Taxa de dados aprimorada (EDR)
3,0 + HS	24Mbps	Alta velocidade
4,0	24Mbps/ 1Mbps (BLE)	Bluetooth de baixa energia (BLE)
4.1	25Mbps	Conexão indireta de dispositivos IoT
4.2	25Mbps	Alcance >100m, protocolo IPv6 para conexão direta com a Internet
5,0	50Mbps	Alcance 4x, velocidade 2x, mensagem 8x capacidade + IoT
5.1	50Mbps	Usa mais antenas para identificar localização dos dispositivos conectados
5.2	50Mbps	Maior alcance (400m)

Agora na versão 5.4, com algumas melhorias adicionais





WLAN versus Bluetooth

	Bluetooth	WLAN/Wi-Fi
Autoridade de especificações	SIG Bluetooth	IEEE, Aliança WiFi
Ano de desenvolvimento	1994	1991
Largura de banda	Baixo (50 Mbps)	Muito alto (2 Gbps 802.11ax)
Requisito de hardware	Adaptador Bluetooth em todos os dispositivos conectando um com o outro	Adaptadores wireless em todos os dispositivos da rede, um roteador wireless e/ou wireless pontos de acesso
Custo	Baixo	Alto
Consumo de energia	Baixo	Alto
Frequência	2,4GHz	2,4/5 GHz
Segurança	É menos seguro	É mais seguro
Faixa	10 metros	100 metros
Dispositivos primários	Telefones celulares, mouses, teclados, dispositivos de automação industrial e de escritório	Notebooks, computadores desktop, servidores
Fácil de usar	Bastante simples de usar. Pode ser usado para conectar para 7 dispositivos por vez. É fácil alternar entre dispositivos ou encontrar e conectar-se a qualquer dispositivo.	É mais complexo e requer configuração de hardware e software



Recursos Bluetooth (I)

- Rede de rádio, no **2,4GHz**, mundialmente
 - **ISM** (Industrial, Científico e Médico); Não licenciado, mas regulamentado
- **FC (Salto de frequência) Espectro de propagação:**
 - **79** canais de 1 MHz na faixa de 2,402 GHz a 2,480 GHz
- Define um **Mestre**
 - Sincroniza todos com seu padrão de salto
- **TDD** (Duplex por Divisão de Tempo)
 - Os dados são transmitidos em uma direção de cada vez, com a transmissão alternando entre duas direções (**Mestre transmite em pares** intervalos de tempo **recebe em ímpares**)



Recursos Bluetooth (II)

- Define dois tipos de redes:
 - **Piconetes**(tem 1 Mestre)
 - **Redes de dispersão**(unindo múltiplas piconets via Master ou Slaves comuns)
- Máximo **8 dispositivos ativos** por piconet
 - 1 Mestre + 7 Escravos
- Dois tipos principais de conexões
 - **SCO**(Orientado para conexão síncrona), link de voz
 - FEC (correção direta de erros), sem retransmissão
 - Conexão explicitamente configurada antes da transmissão
 - **LCA**(Conexão Assíncrona Menos), link de dados
 - Assíncrono, os pacotes devem ser reconhecidos



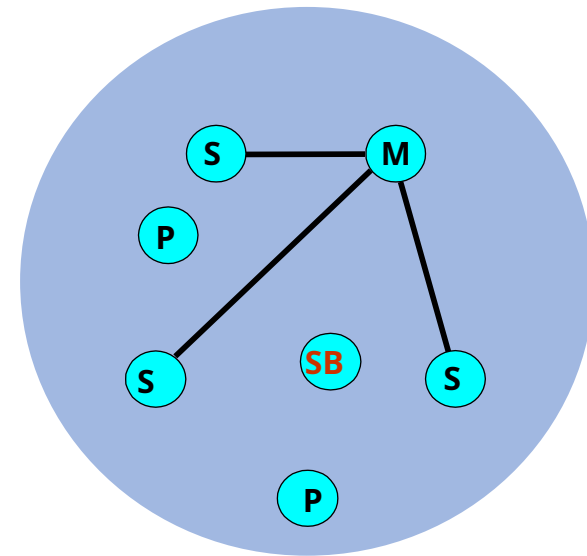
Espectro de propagação de salto de frequência (FHSS)

- Transmissão de sinal em séries pseudo-aleatórias de frequências
- O receptor salta entre frequências em sincronia com o transmissor (1600 saltos por segundo, a cada 625uS)
- O código de espalhamento determina a sequência de salto
 - Deve ser compartilhado pelo remetente e pelo destinatário (por exemplo, padronizado)
- Bisbilhoteiros ouvem sinais ininteligíveis
- O bloqueio em uma frequência afeta apenas alguns bits



Piconetas (I)

- Dispositivos Bluetooth conectados em uma célula “ad-hoc”
- Há um Master com até 7 Slaves ativos e várias centenas estacionados
 - Os escravos só se comunicam com o mestre
 - Os escravos devem esperar pela permissão do mestre
 - A comunicação pode ser de 1 para 1 a 1 para muitos
 - Nenhuma comunicação direta entre escravos
- Cada estação (Master ou Slave) possui um endereço de dispositivo fixo de 48 bits



M = Mestre

S = Escravo

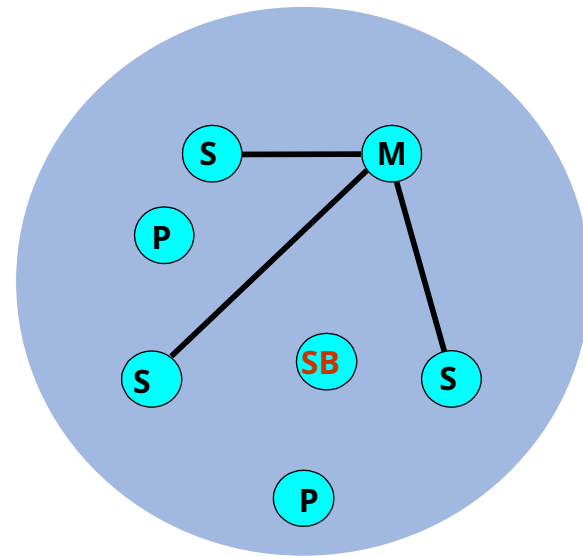
P = Estacionado

SB = Espera



Piconetas (II)

- Mestre define parâmetros de rádio ("clock" e "deviceID")
 - Canal, sequência de salto, tempo,...
- Cada Piconet possui um padrão FH exclusivo (e um único ID)
- Cada piconet tem uma largura de banda máxima
- Um nó em um **Piconet** também pode fazer parte de outra Piconet, seja como Master ou como Slave, criando uma **Rede de dispersão**



M = Mestre

S = Escravo

P = Estacionado

SB = Espera



Contorno

- Redes Bluetooth
- Operação piconet
 - Investigação
 - Paginação
- Pilha Bluetooth
- Perfis e segurança
- BT 4.0 BLE



Operação piconet

- FHSS: todos os dispositivos devem compartilhar o mesmo padrão de salto:
 - *Máster* fornece relógio e deviceID de forma que:
 - O deviceID exclusivo (48 bits) define o padrão de salto
 - O relógio define a fase dentro do padrão
- Se um dispositivo estiver dentro de uma piconet e não estiver conectado, ele deverá estar em *espera*
- Existem dois tipos de endereços piconet
 - *Endereço de membro ativo* (AMA, 3 bits, 7 endereços)
 - *Endereço de membro estacionado* (PMA, 8 bits, 255 endereços)

IDa



car

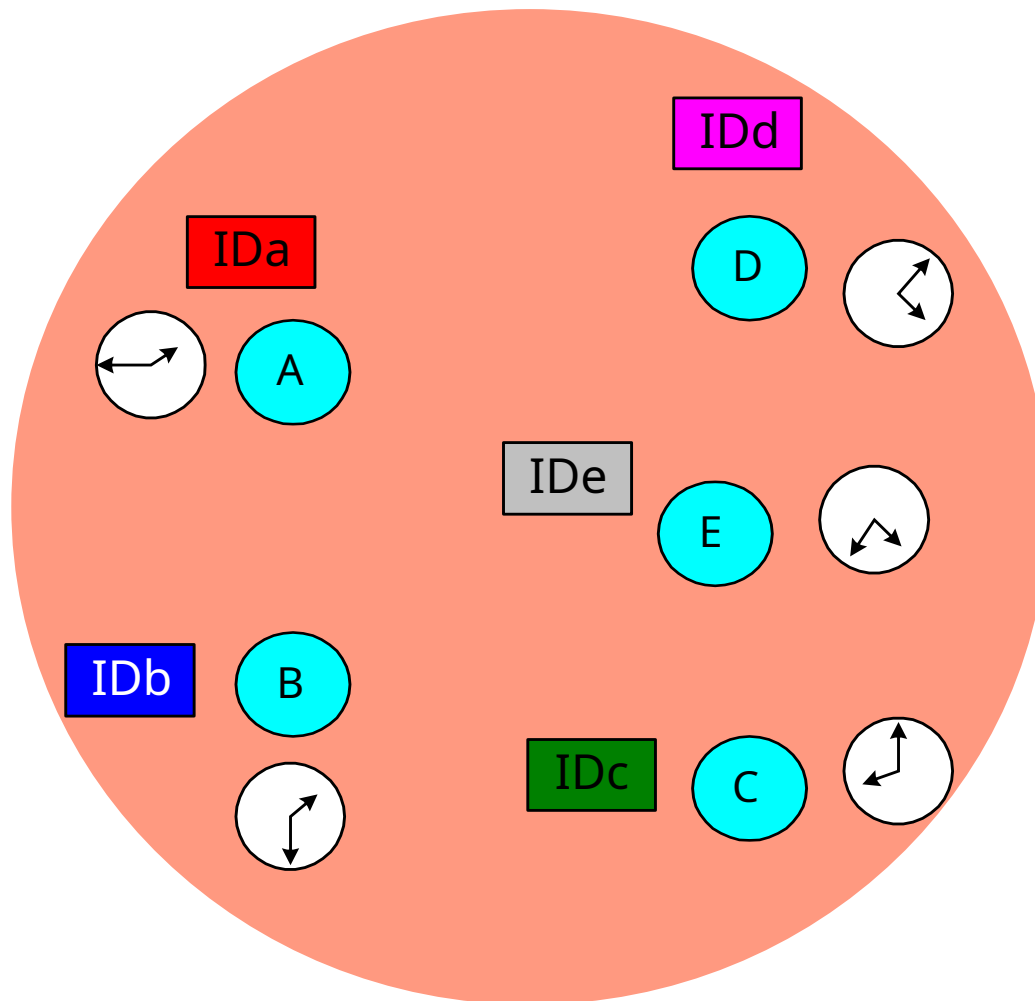
M

S

P

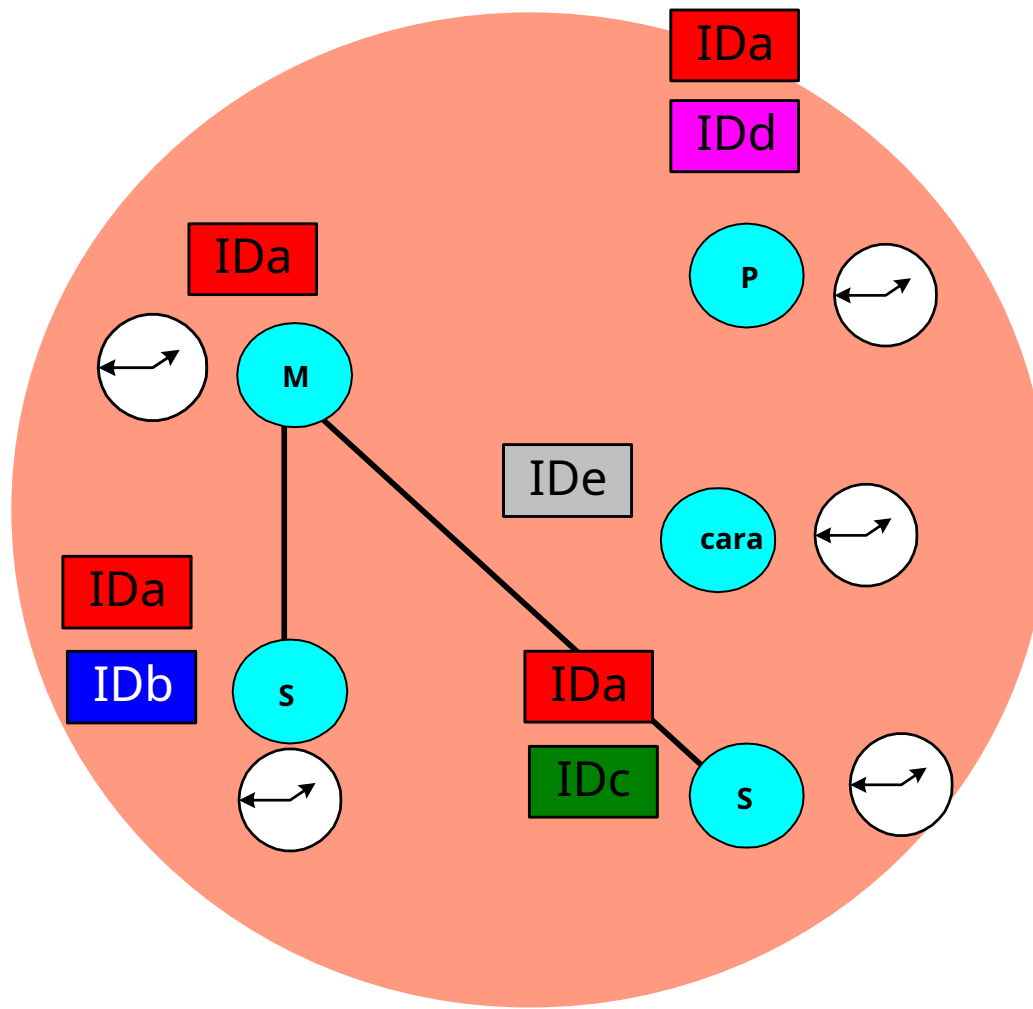


Piconet antes da configuração





Piconeta em operação



Piconeta construída!

Mestre conhece todos os escravos

Piconet ID compartilhado

Tudo em sincronia



Estados do dispositivo

- **Espera**

- Fazer nada; esperando para entrar em uma piconet

- **Investigar**

- Procure outros dispositivos (nós de descoberta)

- **Página**

- Conecte-se a um dispositivo específico

- **Conectado**

- Ativo em uma piconet (Master ou Slave)

- **Estacionar/farejar/esperar**

- Estados conectados de baixa potência

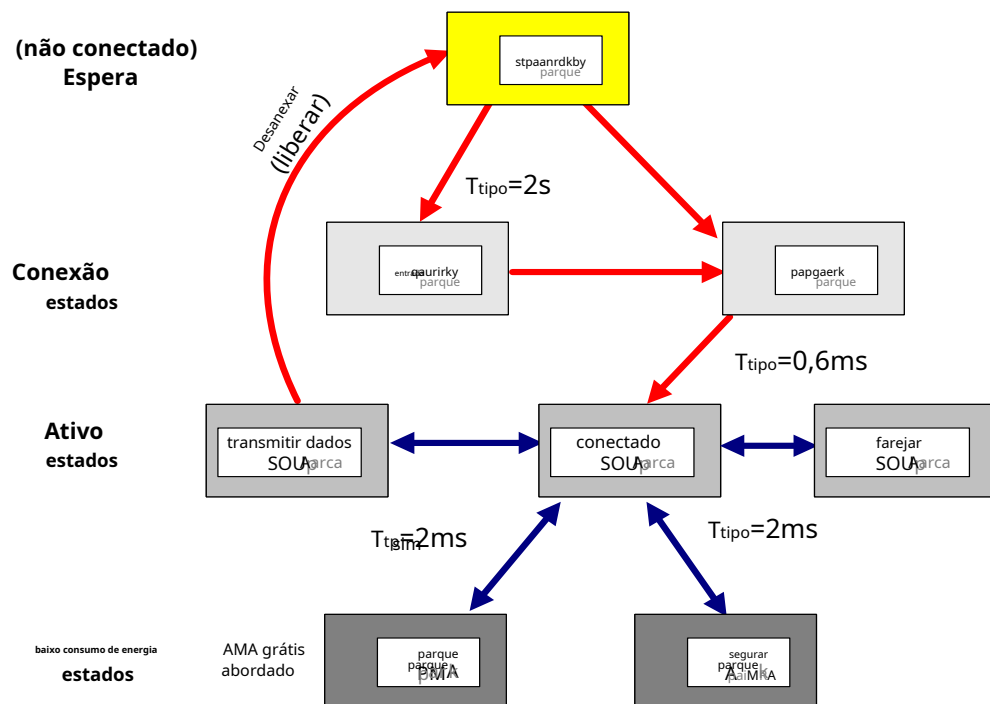
Parque: liberar AMA, obter PMA **Farejar:** ouça

periodicamente, não em cada slot

Segurar: parar ACL, SCO ainda é possível, possivelmente participar de outra piconet

AMA: Endereço de membro ativo

AMP: Endereço do membro do parque





Operação de baixa potência no BT classic

- 3 modos (escravos):

1. Cheirar

- Modo de ciclo de trabalho baixo
- Acorda periodicamente para conversar com o mestre
- Intervalos de “cheirada” fixos

2. Parque:

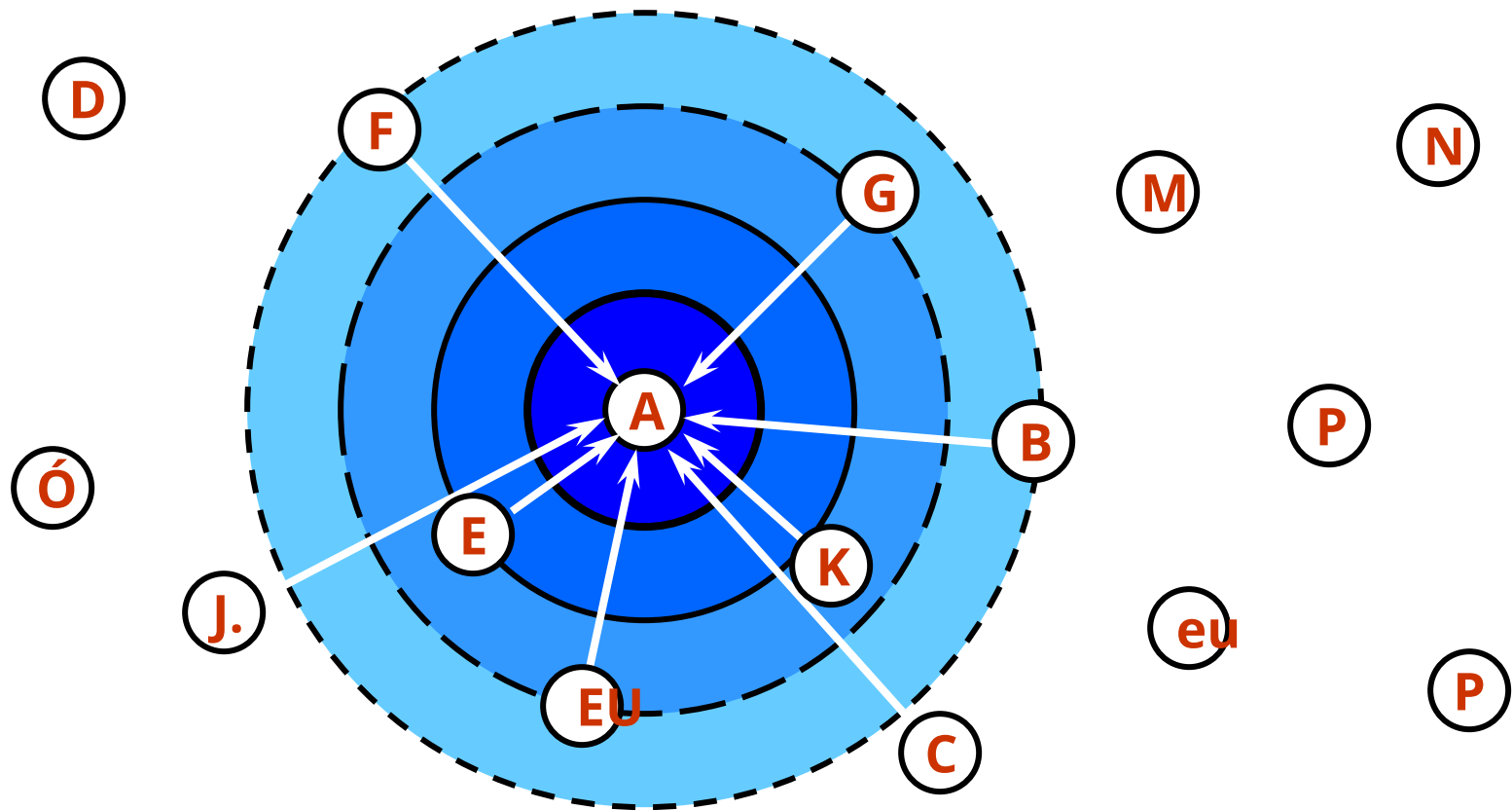
- Estado de energia muito baixo
- Costumava admitir mais de 7 escravos na piconet
 - Slave desiste de seu endereço de membro ativo (AMA)
 - Recebe endereço de membro “estacionado” (PMA)
- Acorda periodicamente ouvindo transmissões que podem ser usadas para “desestacionar” o nó

3. Segure

- O nó dorme por um intervalo especificado
- O mestre pode colocar os escravos em espera enquanto procura novos membros, participa de outra piconet, etc.
- Nenhum pacote ACL (*Sem conexão assíncrona*) → pacotes de dados gerais
 - Mas SCO (*Orientado para conexão síncrona*) possível → Áudio



Descoberta de dispositivos ilustrada

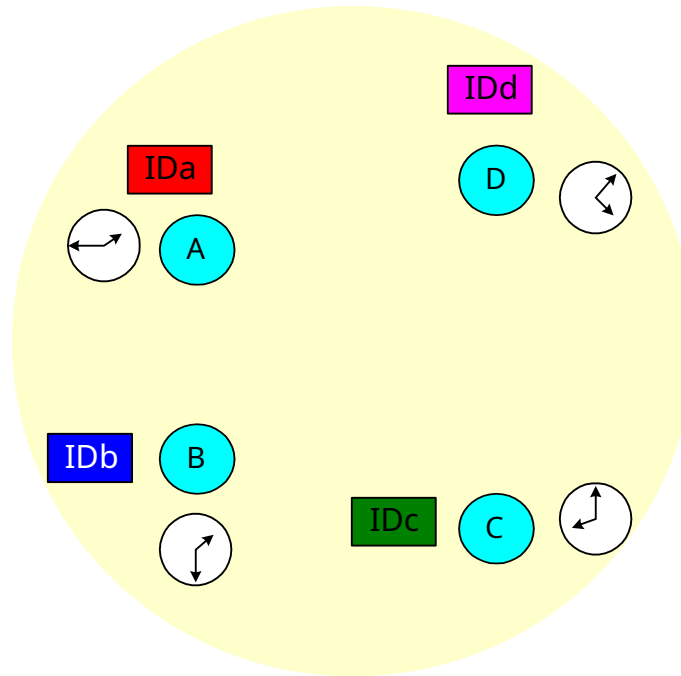


10 metros

Após o procedimento de investigação, A tem conhecimento de outras pessoas dentro do alcance



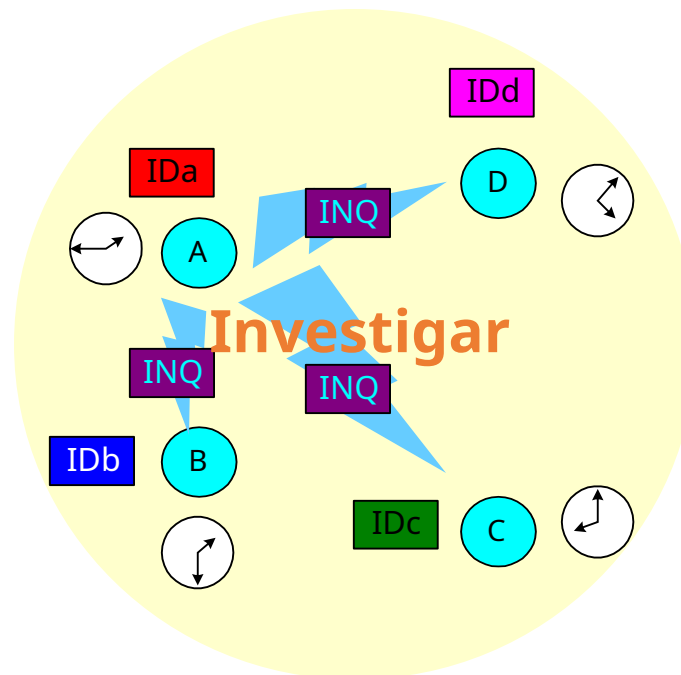
Unidades de digitalização



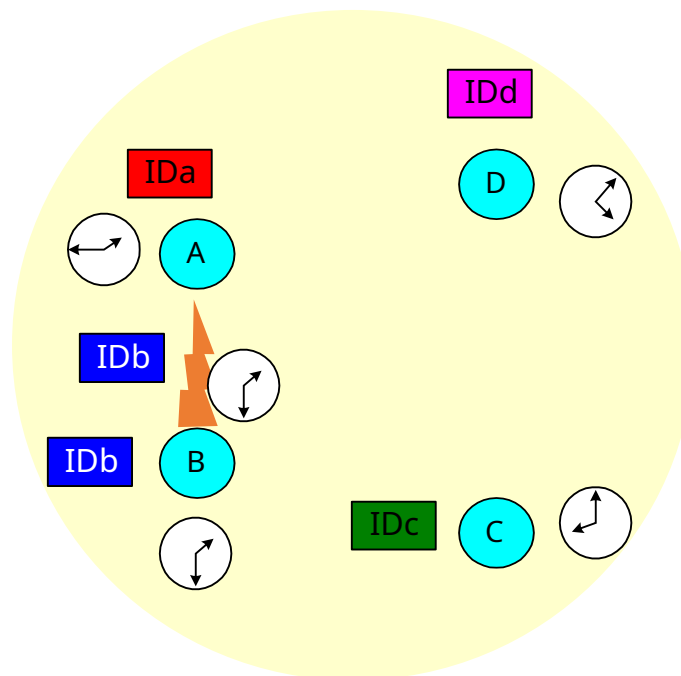
- O dispositivo A deseja procurar estações



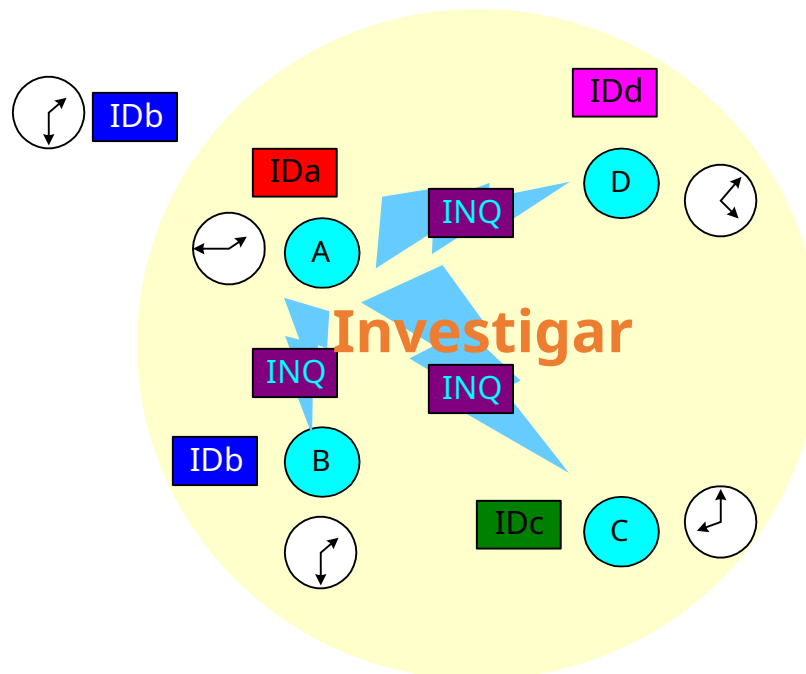
Unidades de digitalização



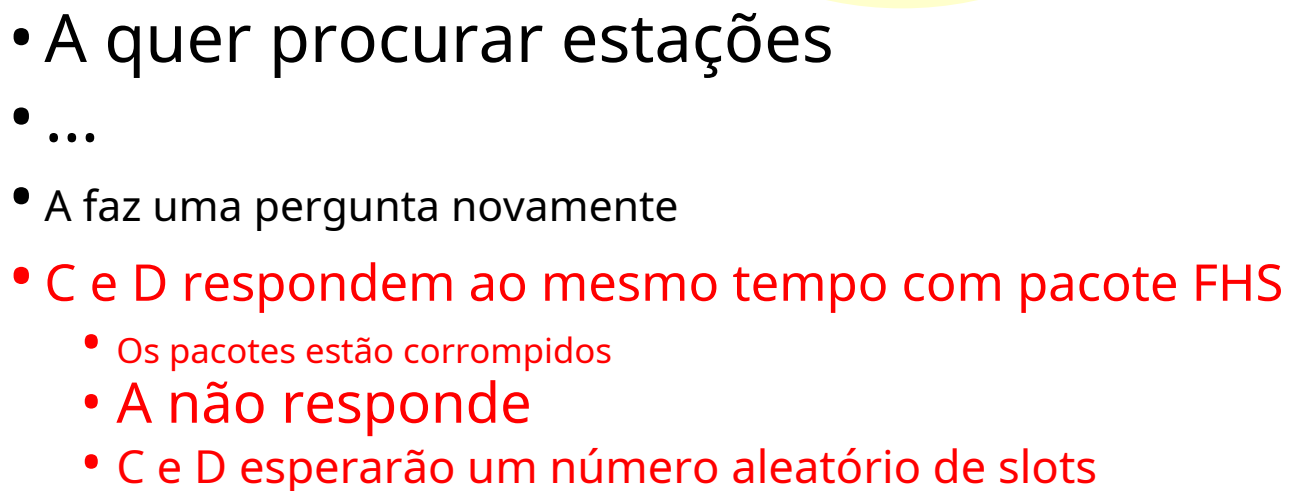
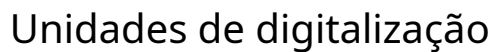
- O dispositivo A deseja procurar estações
- A faz uma consulta (página com ID 000)
 - Os dispositivos B, C, D estão fazendo uma varredura de consulta



- O dispositivo A deseja procurar estações
- A faz uma consulta (página com ID 000)
- B responde com pacote FHS
 - Contém *ID de dispositivo* e *Relógio*

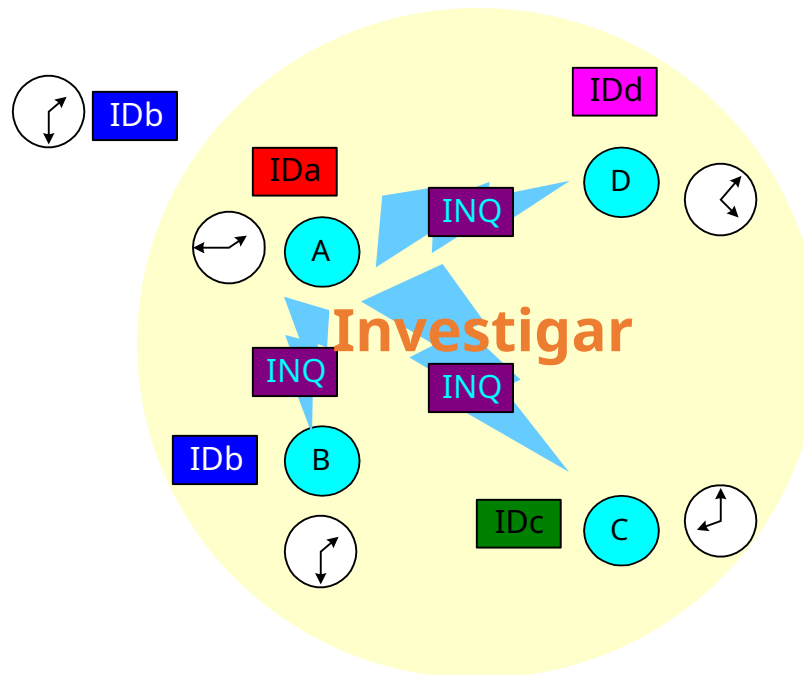


- O dispositivo A deseja procurar estações
- A faz uma consulta (página com ID 000)
- B responde com pacote FHS
 - Contém DeviceID e relógio
- A faz uma pergunta novamente





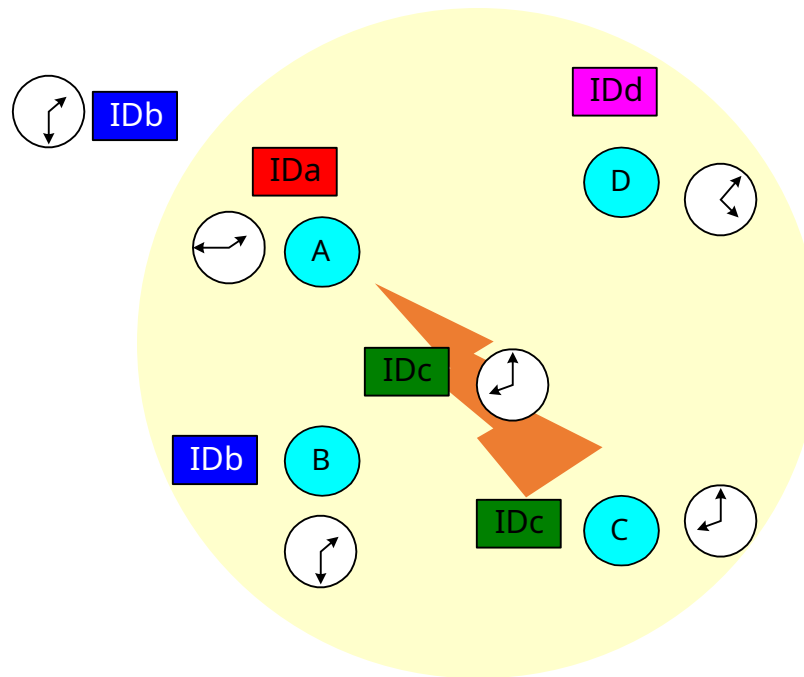
Unidades de digitalização



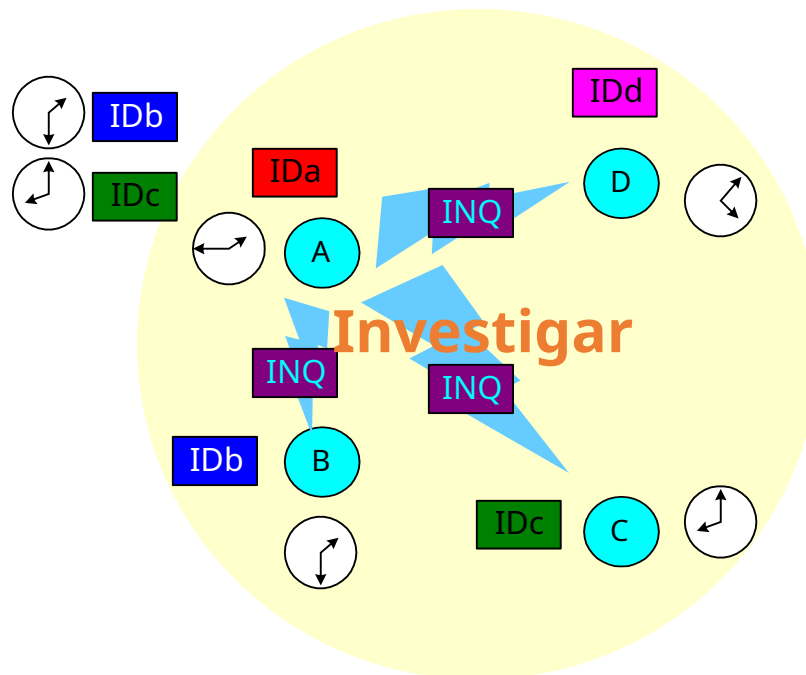
- A quer procurar estações
- ...
- A faz uma pergunta novamente



Unidades de digitalização



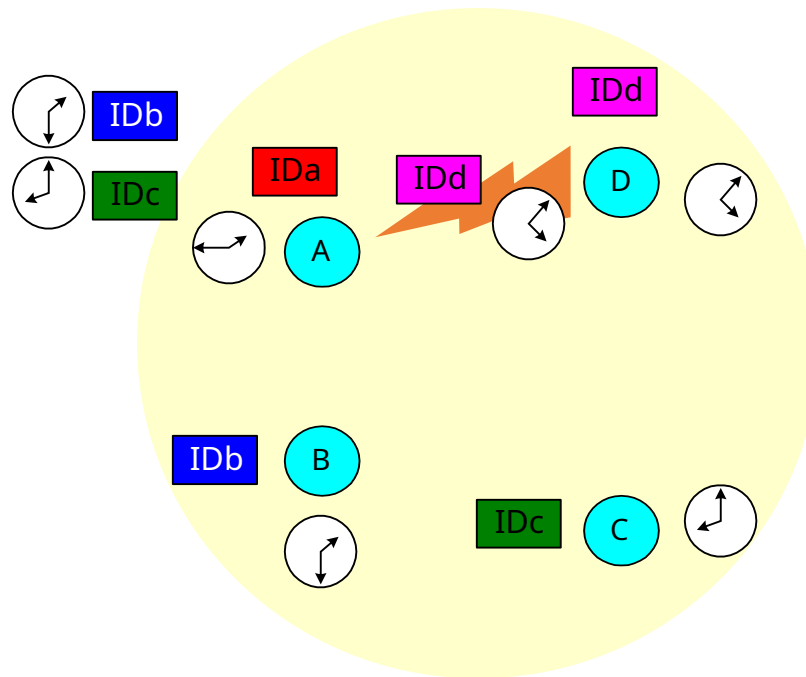
- A quer procurar estações
- ...
- A faz uma pergunta novamente
- C responde com pacote FHS



- A quer procurar estações
- A faz uma pergunta novamente



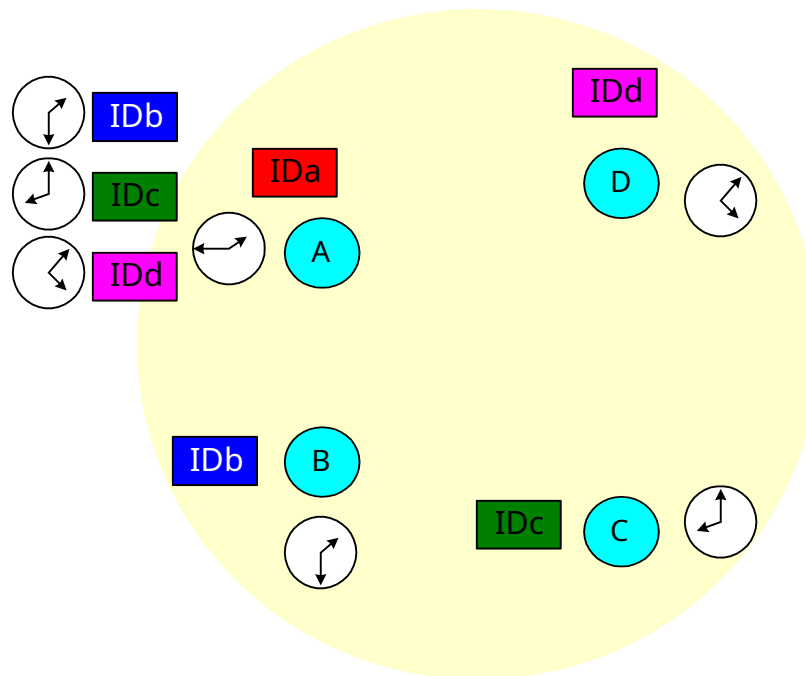
Unidades de digitalização



- A quer procurar estações
- ...
- A faz uma pergunta novamente
- D responde com pacote FHS



Unidades de digitalização



- A tem todas as informações necessárias sobre as unidades da célula



Verificação de consulta: resumo

- A verificação de consultas tem um endereço comum
 - E um padrão de frequência comum (de 32 frequências)
- Todos os dispositivos podem paginar este endereço (e se tornarem mestres)
- Todas as máquinas que ouvirem uma consulta responderão à solicitação de consulta
- Existe um detector (correlator hit) nos escravos, que detecta consultas, antes de responder com uma ESF fornecendo:
 - ID do dispositivo e relógio
- Uma máquina com baixo consumo de energia espera um tempo aleatório antes de responder novamente a uma varredura
- Se houver uma colisão ao responder a uma varredura, eles também aguardarão um período aleatório antes de responder novamente



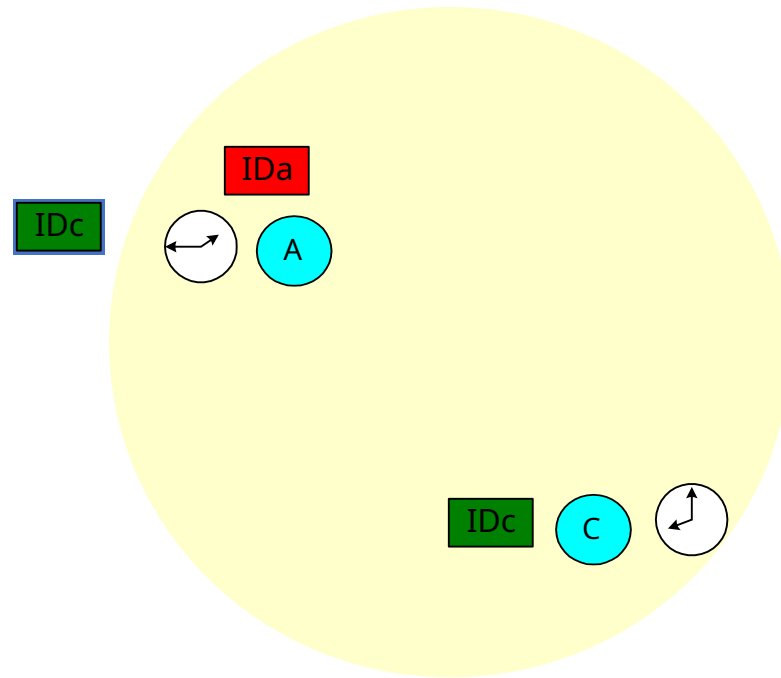
Paginação: Você se conectará a mim?

- Muito semelhante a perguntar
- Ainda não sincronizou relógios ou frequências
- Estabelece uma conexão Piconet real com um dispositivo que ele conhece
- O processo de conexão envolve 6 etapas de comunicação entre o mestre e o escravo

Etapa	Mensagem	Direção	Saltar Padrão	Fonte do padrão e relógio
1	ID do escravo	Mestre para Escravo	Página	Escravo
2	ID do escravo	Escravo do Mestre	Resposta da página	Escravo
3	ESF	Mestre para Escravo	Página	Escravo
4	ID do escravo	Escravo do Mestre	Resposta da página	Escravo
5	1º Pacote Mestre	Mestre para Escravo	Canal	Mestre
6	1º Pacote Escravo	Escravo do Mestre	Canal	Mestre



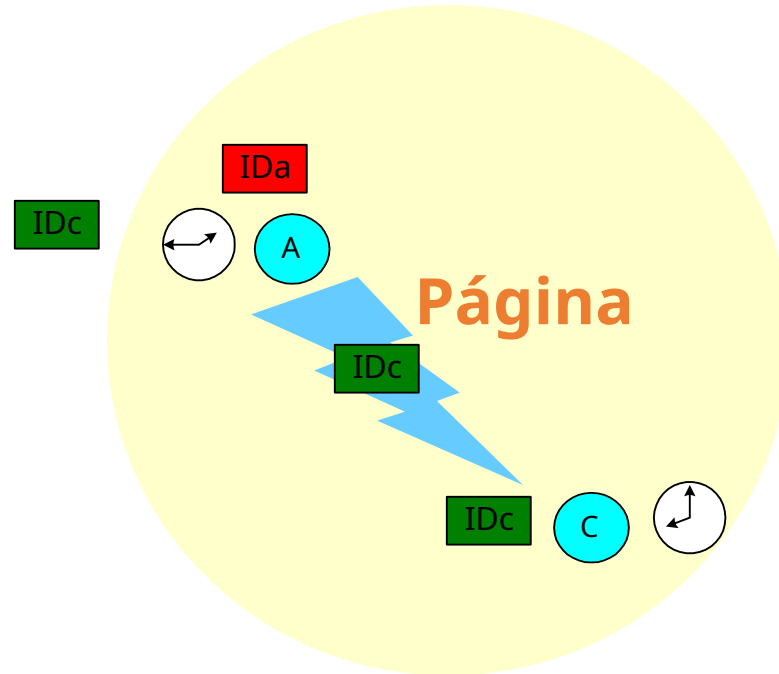
Escravo de Paginação Mestre



- Paginação:
 - Supõe que o mestre tenha *CID de dispositivo* e *Relógio*



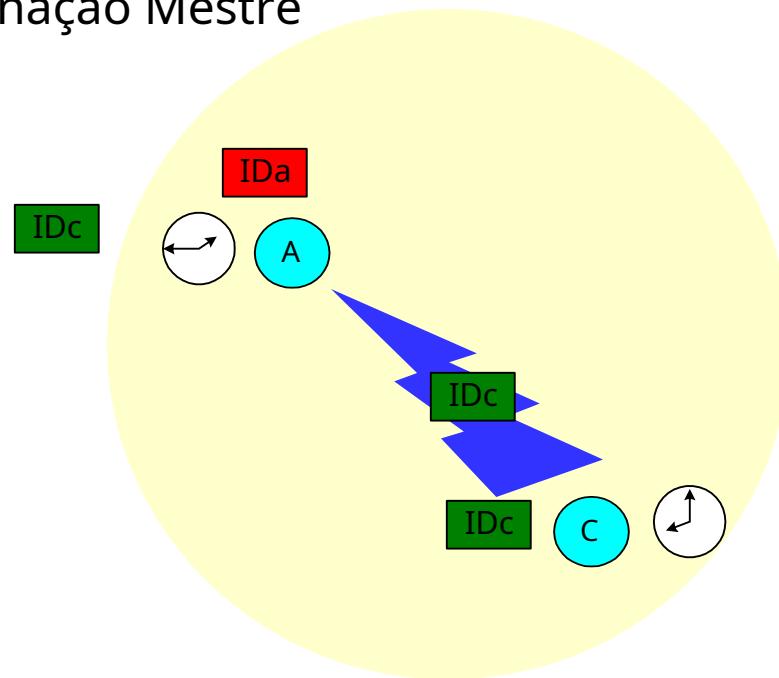
Escravo de Paginação Mestre



- Paginação:
 - Supõe que o mestre tenha C deviceID e Clock
 - A pagina C com o deviceID de C



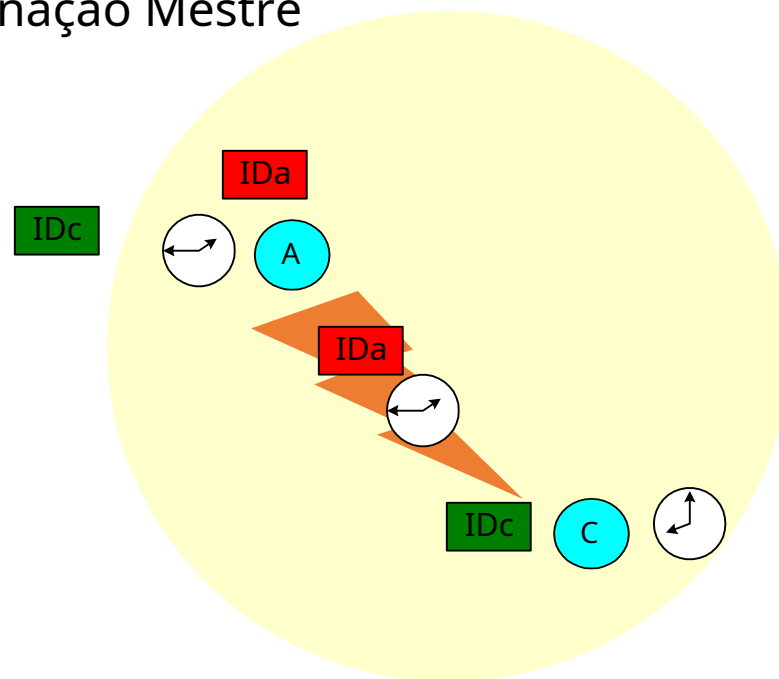
Escravo de Paginação Mestre



- Paginação: master possui o ID do dispositivo e o relógio
 - A pagina C com o deviceID de C
 - C responde A com seu deviceID



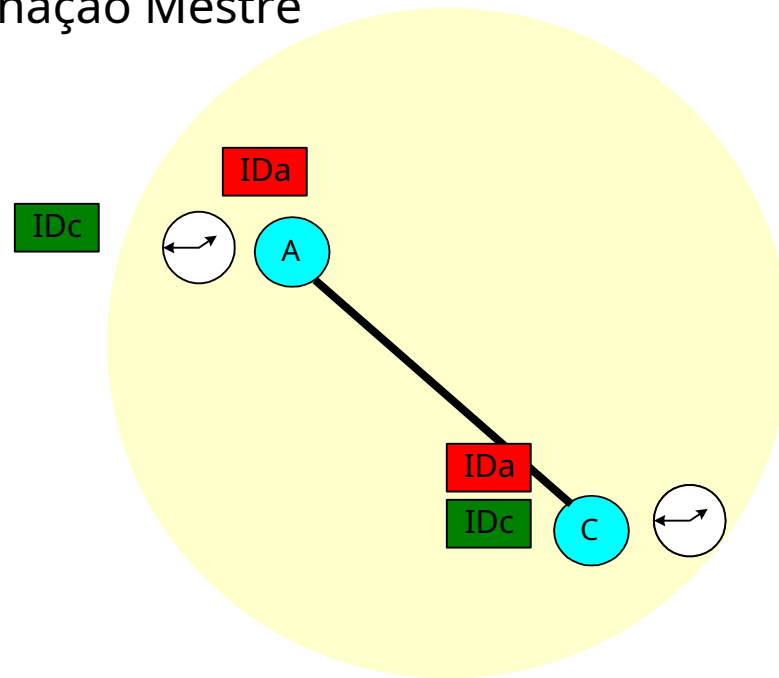
Escravo de Paginação Mestre



- Paginação: o mestre possui o ID do dispositivo e o relógio
 - A pagina C com o deviceID de C
 - C responde A com seu deviceID
 - A envia para C seu deviceID e Clock (pacote FHS)



Escravo de Paginação Mestre



- Paginação: o mestre possui o ID do dispositivo e o relógio
 - A pagina C com o deviceID de C
 - C responde A com seu deviceID
 - A envia C seu deviceID e Clock (pacote FHS)
 - A torna-se mestre de C



Contorno

- Redes Bluetooth
- Operação piconet
 - Investigação
 - Paginação
- **Pilha Bluetooth**
- Perfis e segurança
- BT 4.0 BLE