

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Centro de Informática - CIn

Mestrado em Ciência da Computação

Claudio Koiti Takahasi

Arquitetura de Mobilidade Bluetooth

*Dissertação apresentada ao Centro de Informática da
Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial
para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da
Computação.*

Orientador: Paulo Adeodato

Co-orientador: Sérgio Cavalcante

Recife

Janeiro/2003



Versão	Autor	Data	Descrição
00.04	ckt	01/11/2002	Atualização das tabelas. Verificação ortográfica feita. Simultaneous bidings removido da proposta.
00.05	ckt	19/11/2002	Primeira revisão de Paulo Adeodato. Atualização de referências e correção dos problemas identificados
00.06	ckt	20/11/2002	Redução de alguns capítulos – done Complementar introdução + contextualização tecnológica– done Complementar conclusão – done Random BackOff time – to do Abstract – done Revisar referências – done Capitulo 4 –foco nas contribuições – done
00.07	ckt	25/11/2002	Abstract –done Random BackOff time – to do Atualizar o Capitulo 5 – done
00.08	Ckt	29/11/2002	Atualizado o Random Back Off time
1.0	Ckt	04/12/2002	Removi o Random BackOff Time
1.1	Ckt	20/01/2003	Re-work após a defesa
1.3	Ckt	28/02/2003	Adicionado intervalo de confiança
1.5	Ckt	18/06/2003	Adicionado gráfico de intervalo de confiança.

Recife, 20 de janeiro de 2003.



Universidade Federal de Pernambuco

Av. Professor Luis Freire s/n
Cidade Universitária
50740-540 Recife - PE - Brasil

Tel: +55 81 3271.8430

Fax: +55 81 3271.8438

Título da dissertação:

Arquitetura de Mobilidade Bluetooth

Mestrando: Claudio Takahasi

ckt@cin.ufpe.br

Orientador: Paulo Adeodato

pjla@cin.ufpe.br

Co-orientador: Sérgio Cavalcante

svc@cin.ufpe.br

RESUMO

A tecnologia de comunicação sem-fio Bluetooth promete revolucionar a comunicação pessoal, e contribuir para a evolução da “ubiquitous computing”: *everywhere and everytime* — um paradigma inspirado no acesso constante à informação e às capacidades computacionais.

Bluetooth é uma especificação para transmissão de voz e dados por rádio frequência em curto alcance. A atual especificação possui limitações em relação ao gerenciamento de mobilidade, Bluetooth não foi projetado para permitir o *handoff* entre pontos de acesso. Cada sessão está restrita a um único ponto de acesso.

O IP Móvel é o protocolo padrão da camada de rede para gerenciar a mobilidade de *host* na Internet. As redes de telecomunicações estão convergindo para uma arquitetura “ALL-IP”. Com o objetivo de integrar o Bluetooth a essa nova perspectiva, apresentamos uma proposta para melhorar a mobilidade dos dispositivos Bluetooth. Definimos os requisitos funcionais do enlace para permitir o *handoff* e os requisitos da camada de rede para possibilitar o endereçamento dos dispositivos independentemente de localização.

Devido à elevada latência do modelo de conexão atual, um novo modelo de conexão foi proposto para reduzir a interrupção de serviço durante a transferência da conexão. Para validá-lo, realizamos simulações dos pontos-chave do modelo.

Palavras-chaves: Bluetooth, modelo de conexão, *handoff*, Computação Móvel, Comunicação sem-fio, IP Móvel.

ABSTRACT

The Bluetooth wireless technology promises to revolutionize the personal connectivity, and to contribute for the evolution of ubiquitous computing: “everywhere and everytime”. A paradigm driven by the constant access to the information and the computational resources. The convergence of the Internet, ubiquitous computing and mobile communications are shrinking the world. They are removing our limitations.

Bluetooth is a specification for voice and data transmission using radio frequency in short range. However, it has limitation to mobility management, Bluetooth connection model was not designed to allow handoff between access points.

The Mobile IP is a network layer protocol standard to manage the mobility of host in the Internet. The telecommunications networks are focus to an “ALL-IP” architecture. IP Mobility can facilitating a proliferation of innovative applications and allowing ubiquitous service availability. To apply the Bluetooth to this new vision, we present an architecture to allow the mobility of Bluetooth devices. The requirements of network layer are defined to allow address Bluetooth devices independent of the localization. At the link layer, changes are proposed to become this propose feasible.

Due the high latency of the connection model, we propose a new connection model to reduce the service interruption during the connection transfer. To validate it, simulations were performed to evaluate the key areas of the model.

Key words: Bluetooth, connection model, handoff, Mobile Computing, Wireless communications, Mobile IP.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer àquele que sempre me deu forças para continuar, capacitando-me, enchendo-me de perseverança e paz. Foi ele a quem, nas horas mais difíceis, recorri e onde pude encontrar auxílio certo e verdadeiro. Obrigado, meu bom Deus, por ter sido o amigo fiel de todas as horas.

Agradeço à minha querida família, em especial meus pais, Kougi Takahasi e Rosa Yassuko Takahasi, pela dedicação e apoio, por terem sido o alicerce da minha vida. Mais uma vez obrigado.

Não poderia esquecer também os amigos de Curitiba, os de Terra Roxa, e ainda os amigos do mestrado/doutorado, todos vocês que sempre me acolheram com suas palavras de incentivo, com vozes amigas e sinceras, além das piadas e besteiras indispensáveis.

Ao meu orientador Paulo Adeodato, e ao co-orientador Sérgio Cavalcante meu eterno agradecimento pela motivação e conhecimentos a mim transferidos.

Para finalizar, agradeço à minha namorada Emília Sobreira pelo apoio e carinho.

ÍNDICE

Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xi
Acrônimos	xii
Glossário	xiii
Capítulo 1 Introdução	1
1.1 Motivação	2
1.2 Objetivos	4
1.3 Organização da Dissertação	4
Capítulo 2 A Tecnologia Bluetooth	6
2.1 Introdução ao Bluetooth	7
2.2 Pilha de Protocolos	9
2.3 Bluetooth Core Protocols	11
2.3.1 Baseband	11
2.3.2 Link Manager Protocol	15
2.3.3 Host Controller Interface	16
2.3.4 Logical Link Control and Adaptation Protocol	16
2.4 Processo de formação da conexão	17
2.4.1 Seqüência de saltos	17
2.4.2 Parâmetros de Configuração	19
2.4.3 Máquina de Estados e Seqüência de Mensagens	20
2.4.4 Análise dos parâmetros de conexão	25
2.5 Topologia de Rede	26
2.6 IP sobre Bluetooth	27
2.7 Tecnologias de redes de dados sem-fio	29
2.8 Limitações Tecnológicas	31
2.8.1 Limitações Gerais	31
2.8.2 Mobilidade sobre Bluetooth	31
2.9 Resumo	33
Capítulo 3 Mobilidade IP	34
3.1 Introdução à Mobilidade	35
3.2 Próxima Geração de Redes Heterogêneas	36
3.3 IP Móvel	38
3.3.1 Entidades	38
3.3.2 Roteamento no IP Móvel	39
3.3.3 IP Móvel v4 e IP Móvel v6	41
3.3.4 Problemas do IP Móvel	41
3.3.5 Otimizações	42
3.4 Protocolos de Micro-Mobilidade	44
3.4.1 IP Móvel Hierárquico v6	44
3.4.2 Cellular IP	45
3.4.3 HAWAII	45

3.5	Resumo	47
Capítulo 4	Arquitetura de Gerenciamento de Mobilidade	48
4.1	Introdução	49
4.2	O modelo de conexão	52
4.2.1	Problemas de Sincronização	52
4.2.2	Modelo de conexão proposto	55
4.2.3	Page Scan Opcional II	56
4.2.4	Pesquisas relacionadas	57
4.3	Arquitetura	60
4.3.1	Entidades	61
4.3.2	Configuração da Rede	68
4.3.3	Disparo do handoff	70
4.3.4	IP sobre Bluetooth	72
4.3.5	Endereçamento IP Funcional	72
4.3.6	Gerenciamento Pró-Ativo	73
4.3.7	PDU's LMP adicionais	74
4.3.8	HCI adicionais	76
4.4	Gerenciamento de Handoff	78
4.4.1	Sinalização de Handoff	79
4.4.2	Seleção do ponto de acesso	81
4.5	Resumo	83
Capítulo 5	Simulações	84
5.1	Introdução	85
5.2	Metodologia de Simulação	86
5.3	Análise dos Resultados: Tempo de sincronização e de conexão	88
5.3.1	Efeito do tempo de início	88
5.3.2	Efeito da Sequência Transmitida	90
5.3.3	Efeito do Random BackOff Time	92
5.4	Conclusões	95
Capítulo 6	Conclusão e Trabalhos Futuros	96
6.1	Resumo	97
6.2	Conclusões	97
6.3	Dificuldades encontradas	99
6.4	Trabalhos futuros	100
	Referências Bibliográficas	101

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2-a: Pilha de Protocolos Bluetooth</i>	9
<i>Figura 2-b: Time Division Duplexing</i>	13
<i>Figura 2-c: Pacotes Multi-Segmento</i>	13
<i>Figura 2-d: Formato do endereço BD_ADDR</i>	14
<i>Figura 2-e: Parâmetros de inquiry</i>	19
<i>Figura 2-f: Diagrama de estados da Baseband</i>	21
<i>Figura 2-g : Seqüência de inquiry</i>	21
<i>Figura 2-h: Transmissão de pacotes ID</i>	22
<i>Figura 2-i.: Transições de estados durante o inquiry e page</i>	23
<i>Figura 2-j: Processo de formação do link</i>	24
<i>Figura 2-k: Respostas considerando diferentes valores de parâmetros baseband</i>	25
<i>Figura 2-l: Topologia Bluetooth</i>	26
<i>Figura 2-m: Modelo de referência Bluetooth PAN</i>	27
<i>Figura 2-n: Tecnologias wireless</i>	29
<i>Figura 3-a: Próxima geração de redes heterogêneas</i>	36
<i>Figura 3-b: Arquitetura do IP móvel</i>	38
<i>Figura 3-c: Hierarchical Mobile IPv6 domain</i>	44
<i>Figura 3-d: Rede de Acesso Cellular IP</i>	45
<i>Figura 3-e: HAWAII</i>	46
<i>Figura 4-a: Sincronização de fase</i>	53
<i>Figura 4-b: Problemas de sincronização de fases</i>	54
<i>Figura 4-c: Freqüências complementares consecutivas</i>	55
<i>Figura 4-d: Fases equivalentes</i>	56
<i>Figura 4-e: Seqüência de inquiry alternada</i>	58
<i>Figura 4-f: TwInqScan para transmissão seqüências de inquiry alternada</i>	59
<i>Figura 4-g: Arquitetura proposta</i>	60
<i>Figura 4-h: Máquina de estados do BtMN durante o handoff</i>	63
<i>Figura 4-i: Máquina de estados do BtAP</i>	64
<i>Figura 4-j: Comparação de BtAP atuando como mestre ou escravo</i>	68
<i>Figura 4-k: Master-Slave-Switch</i>	69

<i>Figura 4-l: Módulo RSSI</i>	71
<i>Figura 4-m: Correlação espacial</i>	71
<i>Figura 4-n: Endereçamento funcional</i>	73
<i>Figura 4-o: LMP_BtAP</i>	75
<i>Figura 4-p: LMP_HO_Page</i>	75
<i>Figura 4-q: LMP_target_link</i>	75
<i>Figura 4-r: LMP_handoff_commit</i>	76
<i>Figura 4-s: Fluxo de mensagens no enlace</i>	79
<i>Figura 4-t: Deslocamentos Intra Access Router e Inter Access Router</i>	80
<i>Figura 4-u: Payload FHS</i>	82
<i>Figura 5-a: Sincronização e conexão na especificação</i>	88
<i>Figura 5-b: Sincronização e conexão no modelo proposto</i>	89
<i>Figura 5-c: Intervalo de 95% confiança para o tempo médio de conexão</i>	90
<i>Figura 5-d: Freq. não pertencente à seqüência corrente na especificação</i>	91
<i>Figura 5-e: Freq. não pertencente à seqüência corrente no modelo proposto</i>	92
<i>Figura 5-f: Random BackOff na especificação</i>	93
<i>Figura 5-g: Random BackOff no modelo proposto</i>	93

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 2-a: Classes de dispositivos</i>	8
<i>Tabela 2-b: Camadas do Protocolo Bluetooth</i>	10
<i>Tabela 2-c: Parâmetros Baseband de conexão</i>	20
<i>Tabela 4-a: Tempos de Inquiry e Page</i>	53
<i>Tabela 4-b: Configuração baseband do BtMN</i>	63
<i>Tabela 4-c: Configuração baseband do BtAP</i>	65
<i>Tabela 4-d: Configuração dos BtAPs – page scan mode</i>	67
<i>Tabela 4-e: Tabela de BtAPs</i>	67
<i>Tabela 4-f: Tabela de BtMNs</i>	68
<i>Tabela 4-g: RFCs IPv6</i>	72
<i>Tabela 4-h: RFCs/DRAFTs MIPv6</i>	72
<i>Tabela 4-i: PDUs LMP adicionais</i>	74
<i>Tabela 4-j: HCI adicionais</i>	76
<i>Tabela 4-k: page_scan_mode</i>	77
<i>Tabela 4-l: inquiry_scan_mode</i>	77
<i>Tabela 5-a: Intervalos de Início do INQUIRY_SCAN</i>	86
<i>Tabela 5-b: Random BackOff Máximos</i>	87
<i>Tabela 5-c: intervalo de 95% confiança para o tempo médio de conexão</i>	89
<i>Tabela 5-d: Redução do tempo de conexão considerando as seqüências</i>	92
<i>Tabela 5-e: Análise do Random BackOff time sobre o tempo de conexão</i>	94

ACRÔNIMOS

ACL	Asynchronous Connection Less
AR	Acces Router
BD_ADDR	Bluetooth Address
BER	Bit-Error-Rate
BNEP	Bluetooth Network Encapsulation Protocol
BtAP	Bluetooth Access Point
BtMN	Bluetooth Mobile Node
CLK	Clock
CLKN	Natural Clock
CN	Correspondent Node
CoD	Class of Device
FA	Foreign Agent
HA	Home Agent
HAWAII	Handoff-Aware Wireless Access Infrastructure
HCI	Host Controller Interface
HMIPv6	Hierarchical Mobile IP version 6
IETF	Internet Engineering Task Force
IrDA	Infrared Data Association
IP	Internet Protocol
L2CAP	Logical Link Control and Adaptation Protocol
L2	Layer 2
L2CAP	Logical Link Control and Adaptation Protocol
L3	Layer 3
LAN	Local Area Network
LAP	Lower Address Part
LCoA	Local Care-of-Address
LM	Link Manager
LMP	Link Manager Protocol
MAP	Mobility Anchor Point
MIPv6	Mobile IP version 6
MN	Mobile Node
NAP	Non-Significant Address Part
NS	Network Simulator
PAN	Personal Area Network
PDU	Protocol Data Unit
PPP	Point-to-Point Protocol
QoS	Quality of Service
RCoA	Regional Care-of-Address
RFC	Request For Comment
RSSI	Radio Signal Strength Indicator
SCO	Synchronous Connection Oriented
SIG	Special Interest Group
TDM	Time Division Multiplexing
WAP	Wireless Application Protocol
WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network

GLOSSÁRIO

BER	Durante a transmissão digital, o BER indica a porcentagem erros na transmissão: bits com erro dividido pelo total transmitido.
Camada de enlace/ Data link layer/ L2	A camada de enlace é responsável pela transmissão de blocos de informação sobre o meio físico. Nesta camada são implementados mecanismos para se proteger integridade das informações e gerenciar a qualidade da conexão.
Camada de rede/ Network layer/ L3	Camada responsável pelo endereçamento das mensagens e tradução dos nomes e endereços lógicos em endereços físicos. Ela também determina qual caminho será usado na transmissão, baseando-se nas condições da rede, prioridade nos serviços e outros fatores.
Handoff	No contexto de sistemas orientado a pacotes, caracteriza-se como a transferência de uma conexão ativa de um ponto de conexão para outro.
IETF	Internet Engineering Task Force - comunidade internacional aberta composta por projetistas de redes, operadoras, fornecedores de equipamentos, e pesquisadores preocupados com a evolução da arquitetura da Internet.
Link Manager	Entidade lógica que atua na camada de enlace do Bluetooth verificando a qualidade do link.
Major Device Class	Classificação de grupo de dispositivos Bluetooth situado no mais alto nível de granularidade. Há 32 possíveis classificações genéricas de classes de dispositivos.
Minor Device Class	Classificação de grupo de dispositivos Bluetooth situado no mais baixo nível de granularidade, e utilizado somente no contexto do Major Device Class. Este campo é indica uma classe específica de Major Device Class.
PDU	Informação que é entregue a uma entidade da rede, e que pode conter informações de controle, endereços ou dados.
Propagação Espectral	Spread Spectrum. Técnica de codificação/modulação de sinais de rádio frequência, na qual o sinal é transmitido em uma banda consideravelmente maior do que a quantidade necessária para transmissão do sinal original. Esta técnica é útil em contextos onde é necessário combater ruídos, interferências e atenuações. Os dois princípios mais comumente utilizados são saltos de frequência e seqüência direta.
<i>Random back-off time</i>	Tempo aleatório utilizado no processo de estabelecimento de uma nova conexão Bluetooth.
Redes ad hoc	Redes altamente dinâmicas que podem existir independentemente de uma infra-estrutura sem-fio. São úteis para trocas rápidas de informações entre grupos de dispositivos.
RFC	Request for comments. Na internet, representam uma série de documentos que descrevem um conjunto de protocolos Internet e experimentos relacionados. Todos os padrões da Internet são documentados como RFCs.
Roaming	Mobilidade de serviços, funcionalidade fornecida por algumas tecnologias de rede que permite a um determinado dispositivo acessar serviços da rede/Internet ou ser localizado mesmo estando registrado a outra rede não pertence ao seu domínio.
Tunneling	Encapsulamento de um protocolo de rede dentro de pacotes transportados por outra tecnologia
WPAN	Redes pessoais sem-fio de curto alcance

Capítulo 1

Introdução

Bluetooth é um padrão para comunicação sem-fio em curto alcance. Sua especificação define os requisitos de *software*, *hardware* — abrange a especificação de rádio, camada de enlace e camada de aplicação. O modelo de conexão transparente, seu baixo custo, e a operabilidade global o tornam um padrão adequado para redes pessoais *ad hoc*. As principais aplicações incluem: comunicação entre computadores pessoais e periféricos, sincronização de dados entre PC e laptop, redes residenciais e entretenimento.

As redes de telecomunicações estão convergindo para uma arquitetura de comutação de pacotes “ALL-IP”. Esta arquitetura de redes de acesso permitirá a abstração da tecnologia de acesso, maior transparência ao usuário, portabilidade de aplicações e interoperabilidade entre diferentes tecnologias.

Tendo em mente essa nova perspectiva e as deficiências atuais do Bluetooth, realizamos este trabalho com o objetivo de enriquecer as funcionalidades do Bluetooth para permitir deslocamentos transparentes e alcançar interoperabilidade com outras tecnologias.

A transparência durante o deslocamento é uma das metas a serem exploradas pelas futuras gerações de tecnologias sem-fio. O *handoff* transparente entre pontos de acesso é uma característica desejável na comunicação sem-fio. Este mecanismo é necessário para manter a conectividade de dispositivos quando ocorre deslocamento entre células, minimizar interrupção de serviços e melhorar a qualidade de serviço oferecida.

Em ambiente pico-celular¹ o *handoff* é mais freqüente, neste contexto o gerenciamento da mobilidade é oneroso devido ao excesso de sinalizações necessárias e ao rígido controle da qualidade da conexão. O modelo de conexão do Bluetooth não foi projetado para permitir deslocamentos freqüentes. A atual funcionalidade permitida caracteriza-se como uma

¹ Redes sem-fio de curto alcance, cujo alcance restringe-se a aproximadamente 200m.

computação nômade² sem suporte a *handoff*, na qual cada sessão está restrita a um ponto de acesso. O limitado alcance do Bluetooth e seu modelo de conexão impõem sérias restrições ao gerenciamento da mobilidade.

1.1 Motivação

Bluetooth representa um avanço para permitir serviços transparentes e de baixo custo. A computação ubíqua é uma linha de pesquisa cada vez mais próxima da realidade. Segundo Haartseen[Haartsen00], Bluetooth será uma tecnologia chave para esse processo devido aos seus princípios e características.

Imagine a possibilidade de desenvolver aplicações *push*³, para realizar promoções em áreas localizadas; ou aproveitar a portabilidade e flexibilidade da conexão Bluetooth como interface de acesso à rede pública.

Outros cenários evidentes da necessidade e utilidade de permitir mobilidade com acesso contínuo aos dispositivos Bluetooth são áreas públicas como supermercados, aeroportos, museus e zoológicos.

Atualmente, desenvolver aplicações utilizando o Bluetooth restringe o alcance do serviço somente a *piconet*. Considerando cenários de alta mobilidade, onde o usuário geralmente não permanece ao alcance de um mesmo ponto de acesso durante todo o período da comunicação, a ubiquidade Bluetooth deve ser reavaliada. Meios para aumentar a transparência e permitir a transferência de uma conexão de um ponto de conexão para outro permitiria maior liberdade ao usuário.

A fácil conectividade, baixo custo e energia consumida, tornam o Bluetooth uma tecnologia adequada para sistemas embarcados. Em um futuro próximo, espera-se que chips Bluetooth sejam parte integrante de dispositivos eletrônicos: PDAs⁴, Notebooks, celulares, câmeras digitais, eletrodomésticos, etc.

Em ambientes internos, a concentração de usuários geralmente é elevada. Exemplos característicos são: shoppings e aeroportos. Dentro destes ambientes o Bluetooth pode ser a solução para prover uma alta qualidade de serviço com um custo reduzido. Tecnologias de

² Paradigma computacional que tem como objetivo prover ao usuário acesso permanente a uma rede fixa ou móvel independente de sua posição física.

³ Informações que são transmitidas ("empurradas") por um servidor até múltiplos clientes que assinem um serviço controlado pelo servidor. Exemplos são serviços de notícias, previsão do tempo, esportes, etc.

⁴ Personal Digital Assistant

curto alcance permitem uma maior concentração de células e vazão superiores aos sistemas de transmissão de dados implementados na tecnologia de telefonia celular atual.

No futuro, dispositivos com múltiplas interfaces e a estrutura de células hierárquicas permitirão maior flexibilidade e qualidade de serviço. A utilização da infraestrutura da rede local permite melhor qualidade de serviço e utilização mais eficiente do espectro de frequências. Outro fator importante é a redução do custo do serviço ao usuário.

Embora as funcionalidades do Bluetooth sejam adequadas para comunicações pessoais em curto alcance, as características do modelo de conexão não permitem mobilidade transparente entre pontos de acesso. Essa deficiência, associada ao elevado tempo de conexão no modelo atual motivaram-nos a pesquisar métodos para tornar a mobilidade uma prática viável.

Bluetooth foi concebido para permitir operabilidade global e fácil conectividade entre dispositivos em uma WPAN⁵(Wireless Personal Area Network). A comunicação com dispositivos fora da WPAN não foi considerada inicialmente. O objetivo inicial era permitir a troca rápida de dados entre dispositivos pertencentes a uma pico-célula.

Atualmente o Protocolo Internet (IP) é o protocolo dominante de comunicação inter-redes. Segundo Tao Zhang et ali[Zhang01], o IP possivelmente se tornará o protocolo de rede universal sobre todos os sistemas sem-fio. Um dispositivo IP com múltiplas interfaces de rádio poderia selecionar diferentes sistemas sem-fio se todos suportarem IP como protocolo da camada de rede. Diferentemente das tecnologias de rádio que são estritamente proprietárias, IP fornece um *framework* aberto para serviços e aplicações.

Associado a operabilidade global dos dispositivos Bluetooth surge à necessidade de localização global. Dentro deste contexto, o IP pode ser visto como a “cola” que permite unificar gerenciamento de localização de dispositivos Bluetooth independentemente do escopo do deslocamento: *roaming* ou deslocamento dentro de uma rede local.

Considerar o Bluetooth como parte integrante desta visão, levou-nos a reconsiderar sua utilidade e funcionalidades providas. Pensando na ubiquidade, serviços, e transparência que poderiam ser oferecidos, sugerimos requisitos para permitir a mobilidade IP e o *handoff* transparente.

⁵ rede *ad hoc* pessoal sem-fio de curto alcance

1.2 Objetivos

Dadas as atuais deficiências da tecnologia em relação à conectividade transparente e ao deslocamento entre pontos de acesso, este trabalho tem como objetivo definir os requisitos funcionais do enlace e da camada de rede para permitir a mobilidade de dispositivos Bluetooth na rede pública.

A atual especificação já provê suporte ao IP, os requisitos a serem definidos envolvem as características do enlace e da camada de rede para permitir o *roaming* global transparente e a mobilidade local sem interrupções ou necessidade da intervenção do usuário. Portanto, um dos objetivos é definir os requisitos das entidades para suportar o IP Móvel. Dada as atuais deficiências do modelo de conexão, houve a necessidade de estudar melhorias para permitir o estabelecimento de conexões com maior eficiência e sem grande latência para não comprometer o *handoff*.

Os esforços deste trabalho concentram-se na camada de enlace. Avaliamos o modelo de conexão atual e propomos um modelo para eliminar suas deficiências. Definimos comandos para sinalizar o *handoff* e possibilitar a transferência de informações sobre os pontos de acesso. Definimos métodos de classificação dos pontos de acesso para auxiliar na tomada de decisão – seleção do ponto de acesso adequado.

O modelo proposto objetiva manipular transparentemente o *handoff* entre pontos de acesso Bluetooth. A metodologia empregada procura desvincular especificidades da tecnologia, e aplicar os conceitos discutidos no “mundo” IP à tecnologia Bluetooth para enriquecê-la e integrá-la ao contexto de redes heterogêneas totalmente IP.

As alterações propostas não comprometem a compatibilidade com a especificação atual. Para validar o modelo proposto, realizamos simulações que demonstram a deficiência do modelo de conexão atual e simulações para avaliar o modelo de conexão proposto. Os resultados, discutidos no **Capítulo 5**, demonstram a eficiência do modelo proposto. Nas configurações críticas, nas quais ocorrem problemas de sincronização, o modelo proposto eliminou as deficiências sem um custo adicional.

1.3 Organização da Dissertação

- **Capítulo 2** : Apresenta uma introdução a tecnologia Bluetooth. O foco maior é o modelo de conexão. Também são abordados os trabalhos relacionados à questão de mobilidade.

- **Capítulo 3** : Apresenta o estado da arte sobre as pesquisas relacionadas com o gerenciamento de mobilidade IP. Os assuntos abordados são o IP Móvel, Hierarchical Mobile IPv6, Cellular IP e Hawaii.
- **Capítulo 4** : Apresenta a arquitetura de mobilidade proposta, são definidas as entidades e seus requisitos: requisitos funcionais do enlace e da camada de rede para suportar um gerenciamento de mobilidade eficiente. Devido à deficiência do modelo de conexão atual, também propomos um novo modelo.
- **Capítulo 5** : Apresenta alguns resultados de simulação utilizados para validar os pontos-chaves do modelo de conexão proposto.
- **Capítulo 6** : Apresenta a conclusão desta dissertação, envolvendo as dificuldades encontradas, contribuições e trabalhos futuros.

Capítulo 2

A Tecnologia Bluetooth

Este capítulo descreve as características gerais da tecnologia Bluetooth e os trabalhos relacionados ao gerenciamento de mobilidade em redes Bluetooth. A especificação do Sistema Bluetooth [BtSpec01] é extensa, por isso este capítulo restringe-se às características que são relevantes ao entendimento deste trabalho. Serão vistos: o modelo de conexão, e o Bluetooth core Protocols. Também são descritas as limitações tecnológicas e os trabalhos relacionados.

2.1 Introdução ao Bluetooth

A tecnologia Bluetooth é um dos padrões para comunicação sem-fio, por rádio frequência (RF), em curto alcance que foi originalmente concebido como uma tecnologia de substituição de cabos segundo Nathan Muller[Muller00]. Seu modelo de conexão transparente, baixo custo e consumo de energia, a torna uma tecnologia ideal para os dispositivos portáteis.

A especificação define os requisitos de *hardware* e *software* para permitir comunicação ponto-a-ponto e ponto-a-multiponto em Wireless Personal Area Networks (WPANs). Múltiplos dispositivos de telecomunicação e computação podem ser conectados sem a necessidade de cabos proprietários para a transmissão simultânea de voz e dados entre os dispositivos.

Bluetooth permite redes pessoais *ad hoc* sem-fio, conhecidas como PAN ou Personal Area Networks: redes altamente dinâmicas e transparentes, onde o usuário pode se associar ou desvincular-se rapidamente.

Em 1994, a Ericsson Mobile Communications, iniciou pesquisas para investigar interfaces de comunicação entre telefones celulares e acessórios com restrições de baixo consumo de energia e custo reduzido. O objetivo de estudo era encontrar meios de se eliminar o excessivo número de cabos entre os dispositivos. Este trabalho da Ericsson atraiu a atenção da IBM, Intel, Nokia e Toshiba; que formaram, em maio de 1998, o “Bluetooth Special Interest Group (SIG)”. Em julho de 1999 este grupo publicou a especificação 1.0 do Bluetooth. O objetivo do SIG é definir uma especificação aberta para o Bluetooth e critérios de qualidade para seus produtos. Atualmente, o SIG é composto por mais de 2000 empresas.

A origem do nome deve-se a um rei viking dinamarquês que viveu no século X, Harald Blåtand. Rudemente em inglês, Blåtand significa dente azul. A origem deste nome é decorrente de um dos hábitos alimentares de seu pai, Gorm, que tinha simpatia por uma fruta denominada Blueberries, cuja forte coloração azul-escura pigmentava os dentes. Harald unificou e controlou Dinamarca e Noruega. Deste fato surgiu a relação: “unificar e controlar dispositivos através do Bluetooth”.

Bluetooth opera na banda ISM(Industrial, Scientific and Medical), livre de licença, em 2.4Ghz. Esta banda sofre pouca interferência por ser pouco utilizada. Fontes de interferências consideráveis são os fornos de microondas e tecnologias de redes locais(IEEE802.11 e HomeRF); mas técnicas de espalhamento espectral e boas instalações podem minimizar a interferência gerada. A disponibilidade global a faz uma ótima opção para os dispositivos WPANs nos quais a mobilidade global é essencial.

A especificação define dois sistemas de saltos de frequência, um que trabalha sobre 79 canais, e outro sobre 23. Esta divisão é devido à distribuição irregular da faixa de frequência disponível para a banda 2.4 Ghz ISM no mundo. Países como Japão e Espanha enfrentam este problema, nestes somente o sistema de 23 canais é operacional.

Bluetooth foi concebido para operar em ambientes com elevadas fontes de interferência. O esquema de rápido reconhecimento de pacotes e saltos de frequência torna a conexão mais robusta. O módulo de rádio evita a interferência de outros sinais alterando a frequência após transmitir ou receber um pacote. Comparando com outras tecnologias que operam na mesma frequência Bluetooth é o menos suscetível a interferências, pois executa saltos com maior regularidade e utiliza pacotes menores.

A especificação define três classes possíveis de dispositivos, a Tabela 2-a lista as classes e as configurações.

Classe	Potência máxima de transmissão (mW)	Potência máxima de transmissão (dBm)	Alcance
Classe 1	100 mW	20dBm	100m
Classe 2	2.5mW	4dBm	10m
Classe 3	1mW	0dBm	10cm

Tabela 2-a: Classes de dispositivos

As próximas seções deste capítulo apresentam as principais características desta tecnologia que promete revolucionar o conceito de conectividade entre dispositivos.

2.2 Pilha de Protocolos

Assim como o modelo de referência Open Systems Interconnection(OSI), a especificação Bluetooth utiliza segmentação em camadas com o objetivo de alcançar interoperabilidade entre aplicações de dispositivos remotos.

O Bluetooth possui protocolos específicos da tecnologia como: Link Management Protocol (LMP) e Logical Link Control and Adaptation Layer (L2CAP), e protocolos comuns a outras plataformas como Object Exchange Protocol (OBEX), User Datagram Protocol (UDP) e Wireless Application Protocol (WAP).

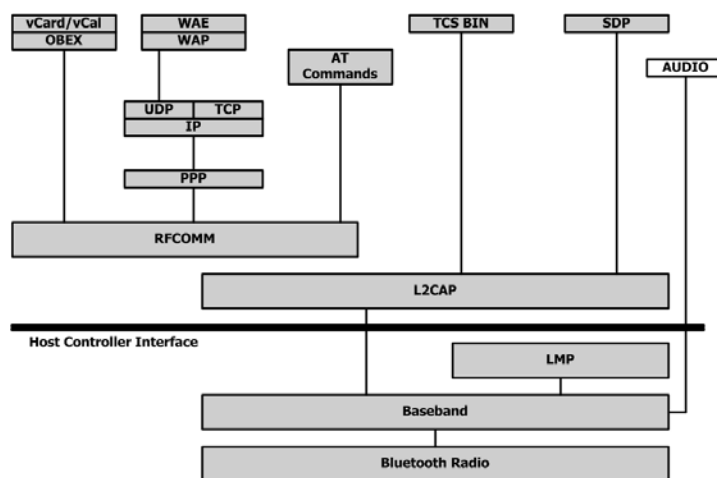


Figura 2-a: Pilha de Protocolos Bluetooth

A utilização de protocolos já existentes nas camadas superiores permite facilidade de adaptação de aplicações para trabalhar sobre a tecnologia Bluetooth e auxilia na interoperabilidade.

A pilha de protocolos, ilustrada na Figura 2-a, consiste de quatro camadas organizadas como descrito a seguir na Tabela 2-b.

Camadas do Protocolo	Pilha de Protocolos
Bluetooth Core Protocols	Rádio Baseband Link Management Protocol Logical Link Control and Adaptation Protocol (L2CAP) Service Discovery Protocol (SDP)
Cable Replacement Protocol	Radio Frequency Communication (RFCOMM)
Telephony Control Protocols	Telephony Control Specification Binary (TCS BIN) AT-Commands
Adopted Protocols	Point-to-point Protocol (PPP) UDP/TCP/IP Object Exchange Protocol <i>Wireless</i> Application Protocol VCard Infrared Mobile Communications (IrMC) <i>Wireless</i> Application Environment (WAE)

Tabela 2-b: Camadas do Protocolo Bluetooth

Na Tabela 2-b apresentamos a pilha de protocolos suportados pelo Bluetooth. Neste capítulo, os protocolos que fazem parte da camada de aplicação não serão explicados por serem desnecessários ao entendimento deste trabalho. Somente o Bluetooth Core Protocols serão apresentados, possibilitando ao leitor a compreensão do funcionamento básico dessa tecnologia e fornecendo subsídios suficientes para o entendimento das modificações inseridas por esse trabalho (descritas na seção 4.2), bem como as dificuldades encontradas. Maiores informações sobre as camadas do Bluetooth podem ser encontradas na especificação [BtSpec01].

2.3 Bluetooth Core Protocols

Bluetooth Core Protocols são protocolos específicos da tecnologia Bluetooth, que juntamente com o Bluetooth Radio são essenciais ao funcionamento dos dispositivos.

Os core Protocols descritos nesta seção incluem: Baseband, LMP e L2CAP. O rádio e o SDP(Service Discovery Protocol) não serão cobertos por não serem relevantes ao contexto.

2.3.1 Baseband

A Baseband Bluetooth situa-se sobre a camada de rádio Bluetooth, sendo equivalente à camada física. É responsável por gerenciar os canais físicos e a transmissão na conexão: correção de erros, seleção de saltos e segurança.

A Baseband é implementada como um Controlador do Link (Link Controller), e em conjunto com o gerenciador da conexão(Link Manager) são responsáveis pelas rotinas da conexão: estabelecimento e controle de potência.

Na transmissão, utiliza saltos de frequência e pacotes de tamanho reduzidos para combater interferências e desvanecimentos seletivos, o que permite uma comunicação mais robusta e reduz a probabilidade de colisões.

Bluetooth utiliza Time Division Duplex(TDD) em conjunto com um procedimento de *polling* para resolver o problema de contenção sobre a conexão sem-fio. O esquema de TDD é utilizado para permitir a comunicação *full-duplex*, e utiliza segmentos de 625 μ s. A comunicação entre mestre/escravo é alternada entre recepção e transmissão. A estrutura da comunicação pode ser visualizada na Figura 2-b.

De acordo com as regras de *polling*, a comunicação ocorre somente entre um mestre e um escravo, e nunca entre dois escravos ou dois mestres diretamente. Para manter a sincronização; o mestre transmite sempre nos segmentos pares e o escravo, sempre nos ímpares.

Todo dispositivo possui um relógio interno que pulsa a cada 312.5 μ s, com um ciclo de aproximadamente um dia. Durante a comunicação os escravos adaptam seu relógio adicionando um *offset* para que haja sincronização de tempo. Este *offset* é atualizado a cada pacote recebido do mestre.

O Bluetooth utiliza uma combinação de comutação de pacotes e circuitos. Suporta um canal de dados assíncrono, e até três canais simultâneos síncronos de voz, ou um canal que suporte simultaneamente dados assíncronos e voz. O canal de voz suporta simetricamente

64Kbps. O canal assíncrono pode suportar em *downlink* e de forma assimétrica no máximo 723.2Kbps, e em *uplink* 57.6Kbps; simetricamente suporta 433.9Kbps.

Canal Físico

O canal físico é representado por uma seqüência de saltos pseudo-aleatória através dos dois sistemas de saltos, um de 79 freqüências e outro de 23. O canal é dividido em segmentos de tempo de 625 μ s, onde cada segmento corresponde a um salto de freqüência numerado ciclicamente de 0 a $2^{27}-1$ de acordo com o relógio do mestre.

Na técnica de Saltos de Freqüência, a freqüência de recepção/transmissão da portadora muda periodicamente. Durante a transmissão de uma informação, o dispositivo transmite em uma freqüência por um curto intervalo de tempo (um segmento), e então salta para outra freqüência. Este método reduz a probabilidade de interferência. Esses saltos de freqüência são definidas por um código, que é derivado da configuração dos dispositivos envolvidos.

No Bluetooth, cada *piconet* possui somente um mestre, cujo endereço determina a seqüência de saltos. A fase, na seqüência de saltos, é determinada pelo relógio do mestre, pois deve haver sincronização entre os dispositivos. O mestre controla o tráfego no canal através de um esquema de *polling*. Por definição, o mestre é a unidade que inicia a conexão. Os escravos possuem uma estimativa do relógio do mestre e adicionam um *offset* para se sincronizar ao mestre.

O esquema Time Division Duplexing (TDD), que pode ser visualizado na Figura 2-b, é utilizado para a transmissão alternada entre mestre e escravo. O TDD utiliza um único canal para enviar e receber as informações, alternando a direção da transmissão ao recebê-las ou transmiti-las. A diferenciação entre os sinais é feita de acordo com o domínio do tempo.

A comunicação é *full-duplex*. A princípio, a comunicação segmentada invalida a afirmação anterior, mas o rápido chaveamento entre recepção e transmissão inibe a percepção do atraso. Isto o torna adequado para o tráfego de voz e dados. Além disso, o montante da largura de banda alocada em cada direção é flexível.

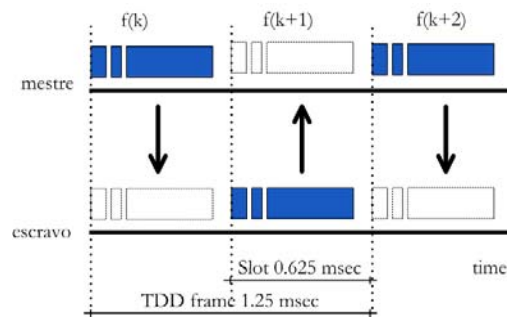


Figura 2-b: Time Division Duplexing

Para manter a sincronização, não há saltos durante a transmissão dos pacotes. O mestre sempre transmite nos segmentos pares, e o escravo nos ímpares. Os pacotes podem ocupar 1, 3 ou 5 segmentos. Na transmissão de pacotes que ocupam mais que um segmento, a frequência é mantida constante.

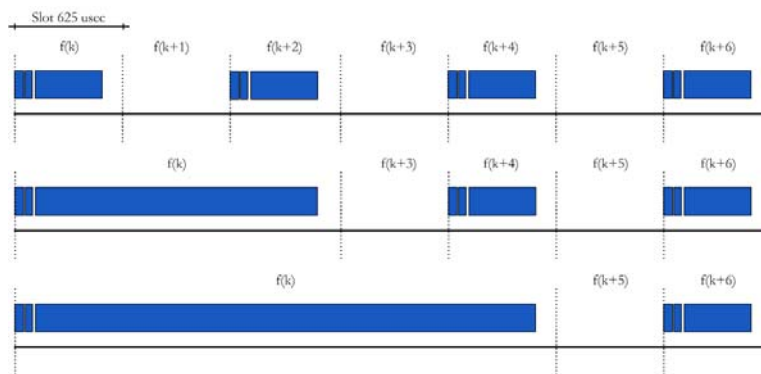


Figura 2-c: Pacotes Multi-Segmento

Conexões Físicas

A especificação define dois tipos de conexões Baseband que podem ser estabelecidos entre mestre e escravos:

- Asynchronous connection-less link (ACL)
- Synchronous connection-oriented link (SCO).

A conexão SCO é simétrica e ponto-a-ponto entre um mestre e um único escravo na *piconet*, com reserva de segmentos em intervalos fixos. Assemelha-se à comunicação por comutação de circuitos, o que o torna adequado para o tráfego de voz e informações com restrição de tempo.

O mestre pode suportar até 3 conexões SCO para o mesmo ou para diferentes escravos. Um escravo pode suportar até 3 conexões SCO do mesmo mestre, ou 2 conexões SCO de diferentes mestres.

Nos segmentos não reservados para as conexões SCO, uma conexão ACL pode ser estabelecida. A conexão ACL fornece um serviço orientado a pacotes, é uma conexão entre um mestre e todos os escravos da *piconet* (ponto-a-multiponto), tipicamente utilizada para dados. Este tipo de conexão pode operar de modo simétrico ou assimétrico. Simétrico significa que a conexão oferece a mesma taxa de transmissão em ambas direções e assimétrico, diferentes taxas. Serviços assíncronos e isócronos são suportados pela conexão ACL, mas somente uma conexão pode estar ativa entre um mestre e um escravo.

Endereçamento e Pacotes Baseband

Cada dispositivo Bluetooth possui um endereço único de 48-bits, Bluetooth Device Address (BD_ADDR). Este endereço é derivado do padrão IEEE 802. O BD_ADDR é dividido em 3 partes:

- LAP (lower address part), 24 bits utilizados para geração dos códigos de Inquiry.
- UAP (upper address part), 8 bits utilizados para geração do código de verificação da integridade do cabeçalho, *header-error-check* (HEC).
- NAP (non-significant part), 16 bits irrelevantes ao endereçamento. Útil somente para o discernimento do fabricante do equipamento.

O LAP e UAP compõem a parte significativa do endereço BD_ADDR.

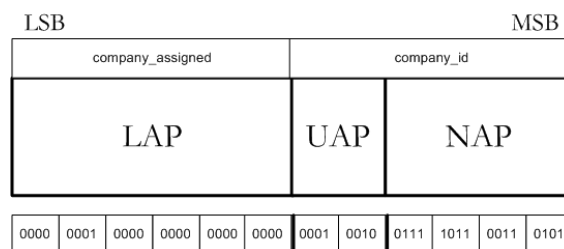


Figura 2-d: Formato do endereço BD_ADDR

Toda informação transmitida pelas camadas superiores é segmentada em pacotes Baseband. Cada pacote é composto por 3 campos: access code (68/72 bits), cabeçalho (54 bits), e payload (0-2745 bits).

O access code é utilizado para sincronização, compensação do *offset*, paging e inquiry. Todo access code é derivado do endereço do dispositivo (BD_ADDR). Há 3 tipos diferentes de access code:

- Channel Access Code (CAC), código que identifica a *piconet*. Este código é derivado do BD_ADDR do mestre e está presente em todos os pacotes trocados no canal da *piconet*.
- Device Access Code (DAC), código utilizado para procedimentos especiais de sinalização durante o processo de estabelecimento da conexão.
- Inquiry Access Code (IAC), código utilizado para a operação de inquiry. Há duas variações de IAC: General Inquiry Access Code (GIAC), utilizado para descobrir os dispositivos ao alcance, e Dedicated Inquiry Access Code (DIAC), utilizado para descobrir grupos de dispositivos com características específicas. O GIAC é comum a todos os dispositivos, enquanto que o DIAC é um primeiro nível de filtro de serviços, pois é comum somente à classe(tipo) do dispositivo.

O cabeçalho contém informações para o controle da conexão. Os campos contidos no cabeçalho são utilizados para o reconhecimento, controle de fluxo, endereço do escravo, verificação de erros e ordem dos pacotes.

O *payload* contém as informações a serem transportadas: voz ou dados. No *payload* dos pacotes de dados há um cabeçalho adicional de 2 bytes de tamanho que indica o canal lógico, controle de fluxo sobre os canais lógicos, e possui um indicador do tamanho do *payload*.

A especificação define pacotes de controle, pacotes ACL e pacotes SCO. Os pacotes de controle são comuns aos dois tipos de conexões. São utilizados para gerenciar o processo de estabelecimento da conexão e controle da conexão. Os pacotes ACL são utilizados nos *links* assíncronos, a informação contida pode ser: dados ou controle. Os pacotes SCO são utilizados nas conexões síncronas, não possuem CRC⁶ e nunca são retransmitidos. Maiores detalhes podem ser obtidos na especificação Bluetooth[BtSpec01].

2.3.2 Link Manager Protocol

O LMP é responsável pela gerência do processo de estabelecimento da conexão e configuração dos dispositivos. Suas principais funções são: seleção de mestre/escravo, modos de controle de potência, segurança, negociação do tamanho dos pacotes baseband e estados de conexão.

As mensagens LMP são filtradas e interpretadas pelo gerenciador da conexão (Link Controller). Devido a sua finalidade, controle do enlace e configuração dos dispositivos, possuem prioridade sobre o tráfego L2CAP.

⁶ Cyclic Redundancy Check (CRC) é um método que permite a detecção de erros nas informações recebidas.

2.3.3 Host Controller Interface

HCI fornece uma interface de comandos para acessar a *baseband* e o *link manager*, e registradores de status, controle e eventos. Esta interface fornece um método uniforme para acessar as capacidades *baseband*, caracteriza-se como uma ponte entre o *software* e o *hardware* Bluetooth.

2.3.4 Logical Link Control and Adaptation Protocol

O L2CAP fornece aos protocolos de camadas superiores serviços orientados a conexão e a pacotes. É responsável pela multiplexação, de-multiplexação dos dados, segmentação, remontagem, qualidade de serviço (QoS) e abstração de grupos.

2.4 Processo de formação da conexão

O estabelecimento da conexão, descrito na especificação do Baseband Bluetooth, consiste de dois processos: Inquiry e Page. Para o mestre, o objetivo do Inquiry é descobrir os dispositivos ao alcance e coletar informações de configuração. O objetivo do Page é estabelecer um canal de comunicação bi-direcional por saltos de frequência, as informações obtidas durante o Inquiry controlam este processo.

Ambos os procedimentos, Inquiry e Page são processos assimétricos. Dois dispositivos tipos de dispositivos estão envolvidos: mestre e escravos. O dispositivo mestre executa o Inquiry e após o Page, os escravos por sua vez executam o Inquiry Scan e o Page Scan. Embora os dispositivos utilizem uma seqüência comum de saltos de frequência para o processo de Inquiry ou Page, não há sincronização, pois cada dispositivo inicia em um diferente salto de frequência pertencente à seqüência derivado do valor de seu relógio.

No trabalho realizado por Ivana Maric [Maric00] pode ser encontrado formulações analíticas e resultados de simulação sobre os diferentes modos de PAGE no processo o estabelecimento da conexão.

2.4.1 Seqüência de saltos

Os dispositivos no processo Inquiry utilizam uma seqüência de frequências dedicadas de Inquiry, denominada *inquiry hopping sequence*. No sistema de 79 canais, a seqüência de saltos de INQUIRY consiste de 32 frequências predefinidas, comuns a todos os dispositivos, e divididas em duas seqüências: A e B. Os sistemas de 23 canais utilizam somente uma seqüência de 16 frequências.

Para o Page, os dispositivos utilizam o *page hopping sequence*, derivado do BD_ADDR do dispositivo escravo. Semelhantemente ao *inquiry hopping sequence*, possui 32 frequências divididas em duas seqüências.

O *inquiry hopping sequence* é comum a todos os dispositivos, enquanto que o *page hopping sequence* é derivado do BD_ADDR do dispositivo escravo. Portanto, escravos distintos possuem diferentes *page hopping sequence*.

Considerando o sistema de 79 canais, a distribuição de frequências para o Inquiry e Page é organizada como representado a seguir.

A : $f(k-8), f(k-7), \dots, f(k), \dots, f(k+7)$

B : $f(k-16), f(k-15), \dots, f(k-9), f(k+8), \dots, f(k+15)$

A seqüência está estruturada ciclicamente, para inferir qual freqüência deve ser utilizada, utiliza-se o conceito de fases. A fase está relacionada com o valor do relógio, e possui correspondência de uma para uma com as freqüências das seqüências. A fase(X_p) dentro do *inquiry hopping sequence* é obtida de acordo com a Equação 2-1. No *page hopping sequence*, a fase é obtida utilizando-se o valor estimado do relógio do escravo (CLKE), ao invés do relógio nativo do dispositivo (CLKN).

$$X_p = [\text{CLKN}_{16-12} + k_{\text{offset}} + (\text{CLKN}_{4-2,0} - \text{CLKN}_{16-12}) \bmod 16] \bmod 32 \quad \text{Equação 2-1}$$

Na Equação 2-1, $\text{CLKN}_{4-2,0}$ representam os bits de 4 a 2 e o bit 0 do relógio do dispositivo em INQUIRY. O $k_{\text{offset}} \in \{24,8\}$ e seleciona a seqüência ativa: A ou B. As freqüências dentro de cada seqüência estão deslocadas ciclicamente por uma fase a cada 1,28s, considerando que ocorre incremento no CLKN_{16-12} e que o CLKN possui uma resolução de 312.5 μ s.

A Equação 2-2 define como o dispositivo em Inquiry Scan/Page Scan seleciona a fase na seqüência de acordo com o seu relógio nativo. A seleção de fase é idêntica para ambos os processos, mas assim como o Inquiry/Page o mapeamento de freqüências em fases diferem. Durante o Inquiry Scan, o dispositivo espera por códigos de inquiry (IAC⁷) e no Page Scan, códigos derivados do seu próprio endereço (DAC⁸).

$$X_p = \text{CLKN}_{16-12} \quad \text{Equação 2-2}$$

Os 5 bits (CLKN_{16-12}) permitem representar as 32 freqüências possíveis na seqüência de inquiry, $\{f_{(k-16)}, \dots, f_{(k-8)}, \dots, f_{(k)}, \dots, f_{(k+7)}, \dots, f_{(k+15)}\}$. Conseqüentemente, a fase é alterada a cada 1,28s⁹.

Como a fase é dependente do relógio, quando a diferença entre os relógios mestre e escravo estiver entre $-8 \times 1,28$ s e $+7 \times 1,28$ s, a freqüência que o escravo está ouvindo pertence à seqüência selecionada pelo mestre. Segundo a especificação Bluetooth [BtSpec01], quando a diferença entre relógios é menor que $-8 \times 1,28$ s ou maior que $+7 \times 1,28$ s, a freqüência selecionada pelo escravo não pertence à seqüência transmissão corrente utilizada pelo mestre.

A Figura 2-e apresenta uma visão do processo de Inquiry no sistema de 79 canais, e os principais parâmetros envolvidos. No Page, a estruturação é semelhante, exceto pelo fato que a execução prévia do Inquiry permite ao mestre deduzir qual seqüência A ou B ele deve

⁷ Inquiry Access Code

⁸ Device Access Code

⁹ Os 12 bits do relógio (CLKN_{11-0}) permitem representar 4096 segmentos, como cada segmento possui 315 μ s, a multiplicação resulta em 1280ms.

utilizar. A estimativa do relógio do escravo e o endereço, obtidos no Inquiry, possibilitam deduzir respectivamente qual a possível fase o escravo está utilizando, e qual o mapeamento de frequências. Embora uma estimativa consistente de fase seja possível, o mestre transmite em todas as frequências da seqüência para evitar imprecisões. Suponha que fase estimada seja a zero, o mestre irá transmitir seqüencialmente em todas as frequências da seqüência que $f_{(k)}$ pertence, neste caso, toda a seqüência A. Portanto, irá transmitir em $f_{(k-8)}, f_{(k-7)}, \dots, f_{(k)}, \dots, f_{(k+7)}$, mesmo sabendo que o escravo possivelmente estará recebendo em $f_{(k)}$.

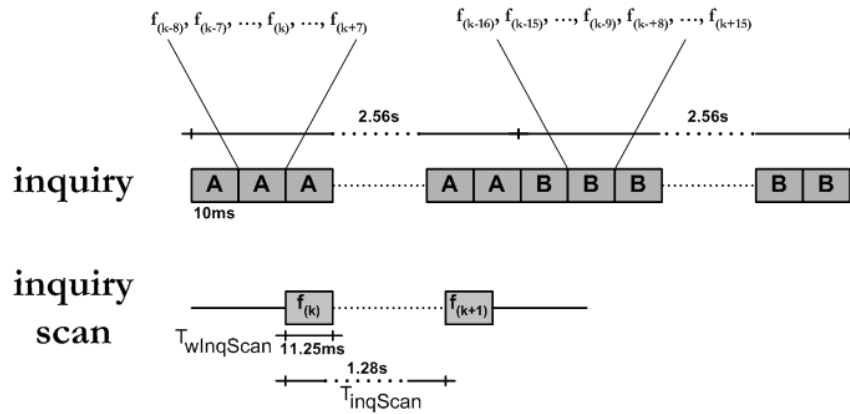


Figura 2-e: Parâmetros de inquiry

2.4.2 Parâmetros de Configuração

A especificação Baseband é imprecisa com relação aos parâmetros adequados para a configuração das operações de INQUIRY/PAGE, e não aborda modos para reduzir a latência inserida por esses processos. Os parâmetros não devem ser configurados de modo aleatório, variar estes parâmetros determina um maior ou menor consumo de energia, como também uma maior ou menor probabilidade de sucesso de conexão.

Os principais parâmetros envolvidos no estabelecimento da conexão estão descritos na Tabela 2-c. Os valores definidos pela especificação objetivam minimizar o consumo de energia, mantendo uma alta probabilidade de detecção e sucesso de conexão.

Timer	Intervalo	Padrão	Descrição
$T_{inquiry}$	1,28s \vdash 61.44s	10.24s	Duração do inquiry
$N_{inquiry}$	-	256	Número de vezes que uma seqüência deve ser transmitida durante o inquiry
$T_{inqScan}$	11,25ms \vdash 2560ms	1,28s	Intervalo entre o começo de inquiry scans consecutivos
$T_{winqScan}$	11,25ms \vdash 2560ms	11,25ms	Duração de um período(window) de inquiry scan, $10ms^* \leq T_{winqScan} \leq T_{inqScan}$
T_{page}	-	5.12s	Duração do page
N_{page}	-	256	Número de vezes que uma seqüência deve ser transmitida durante o page
$T_{pageScan}$	11,25ms \vdash 2560ms	1,28s	Intervalo entre o começo de page scans consecutivos
$T_{wpageScan}$	11,25ms \vdash 2560ms	11,25ms	Duração de um período(window) de page scan, $10ms^* \leq T_{wpageScan} \leq T_{pageScan}$

Tabela 2-c: Parâmetros Baseband de conexão

* 10ms é o tempo de transmissão de uma seqüência

A especificação define que o $T_{inquiry}$ deve ser 10.24s. No entanto, segundo as informações obtidas no *site* Palowireless[Palowireless], resultados práticos revelam que 3-5s são suficientes. Esse parâmetro possui um valor elevado para assegurar que todos os dispositivos ao alcance se conectem, mesmo em contextos de elevada interferência.

A especificação define como valor padrão para o $T_{winqScan}/T_{wpageScan}$ 11,25ms, 10ms para a cobrir as 16 fases(uma seqüência), mais 1.25ms(2 seguimentos) para contornar a dessincronização nas bordas da janela.

2.4.3 Máquina de Estados e Seqüência de Mensagens

Os processos Inquiry e Page são independentes, não é obrigatório se conectar a todos os dispositivos que responderam ao processo Inquiry. Como também não é obrigatório que o processo de Page seja imediatamente seguido ao processo Inquiry. Obviamente, como cada dispositivo possui um relógio independente, caso haja demora na execução do processo Page, pode ocorrer dessincronização devido a uma estimativa inconsistente.

Para o estabelecimento da conexão os dispositivos seguem o diagrama de estados definido pela especificação. A Figura 2-f ilustra a máquina de estados utilizada. Os dois principais estados são:

- STANDBY: estado padrão de baixo consumo de energia. Os dispositivos deixam esse estado para ir para INQUIRY, PAGE, INQUIRY SCAN ou PAGE SCAN.
- CONNECTION: estado no qual o dispositivo o dispositivo é parte integrante de uma *piconet*. O dispositivo pode transmitir ou receber pacotes seguindo as regras de acesso ao meio.

Além desses, há sete sub-estados utilizados durante os procedimentos de Inquiry e Page. Para o mestre, os seguintes sub-estados podem ser atribuídos: INQUIRY, PAGE, MASTER

RESPONSE. Para o escravo: INQUIRY SCAN, INQUIRY RESPONSE, PAGE SCAN e SLAVE RESPONSE.

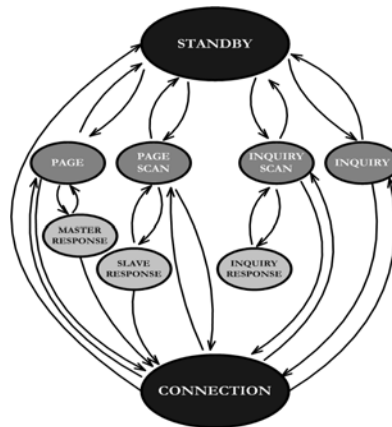


Figura 2-f: Diagrama de estados da Baseband

No início do processo de Inquiry, o dispositivo pode entrar nos estados INQUIRY ou INQUIRY SCAN. No estado INQUIRY, o futuro mestre alterna entre transmitir pacotes ID, que contêm o Inquiry Access Code (IAC), e escutar por respostas (pacotes FHS). Caso o dispositivo entre no estado INQUIRY SCAN, o candidato a escravo deve aguardar constantemente a recepção de pacotes ID com um código IAC, e responder quando apropriado.

Para que os saltos de frequências se harmonizem, o dispositivo em INQUIRY salta mais frequentemente que o dispositivo em INQUIRY SCAN. As mensagens de Inquiry são transmitidas seqüencialmente em duas frequências diferentes por segmento, o que aumenta a frequência de saltos de 1600saltos/s para 3200 saltos/s. O mesmo ocorre durante o Page.

A Figura 2-g ilustra a relação de tempo e frequências entre o Inquiry e Inquiry Scan. Os processos são independentes, o Inquiry possui maior duração e maior variação de saltos de frequência para possibilitar sincronização entre os processos.

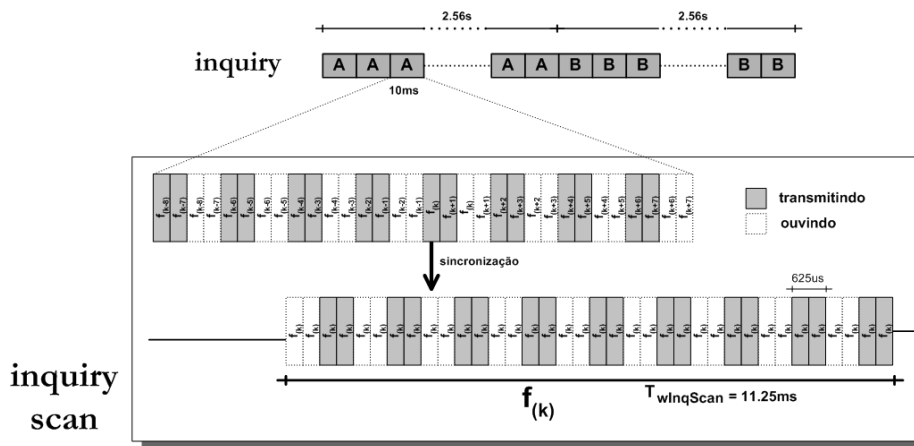


Figura 2-g : Seqüência de inquiry

A Figura 2-h detalha a segmentação de tempo no processo transmissão de pacotes durante o Inquiry. Pacotes ID contendo o IAC são transmitidos em diferentes frequências em uma taxa duas vezes a usual, dois pacotes são enviados em um segmento de (625 μ s). A transmissão e a recepção de possíveis respostas de dispositivos em INQUIRY SCAN são alternadas, respeitando o mecanismo de TDD.

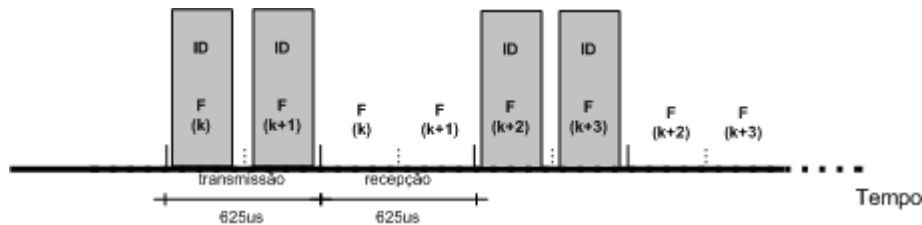


Figura 2-h: Transmissão de pacotes ID

Considerando que 2 pacotes ID são transmitidos por segmento de tempo (625 μ s), o tempo de transmissão de uma seqüência requer 10ms (16 X 625 μ s). De acordo com a especificação, cada seqüência deve ser repetida 256 vezes (2,56s), antes de outra seqüência ser utilizada. Quando ocorre a 1ª sincronização o dispositivo em INQUIRY SCAN inicia um timer aleatório, distribuído uniformemente entre 0 e 1023 segmentos.

No estado INQUIRY é feito *broadcast*, por isso múltiplos dispositivos podem receber a mensagem de inquiry desde que estes estejam no estado INQUIRY SCAN e sincronizados em uma das frequências de transmissão. Para evitar a colisão das mensagens de respostas, os dispositivos respondem em um tempo aleatório, *random back-off time*, cujo valor (em segmentos) pertence ao intervalo [0,1023]. Considerando que cada seguimento possui 625 μ s, temos um tempo máximo de 639.375ms.

Quando o *random back-off time* expira, o dispositivo entra novamente em INQUIRY SCAN e aguarda novamente a recepção de mensagens de inquiry. Quando ocorre a 2ª sincronização e uma mensagem é recebida, o dispositivo entra em INQUIRY RESPONSE e responde com um pacote FHS, que contém informações sobre sua configuração (BD_ADDR e relógio).

A Figura 2-i complementa a Figura 2-f, ilustrando a transição de estados, durante o processo de formação de uma conexão.

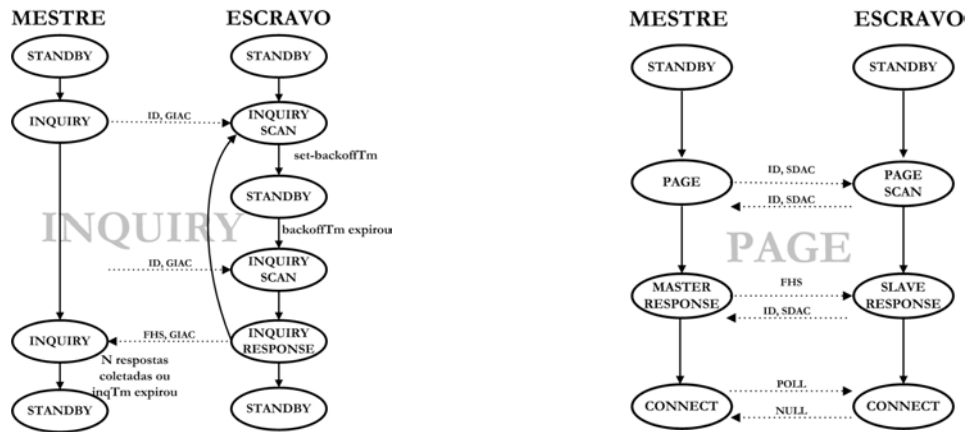


Figura 2-i: Transições de estados durante o inquiry e page

O processo de Page é semelhante ao Inquiry, exceto pelo fato que o futuro mestre já conhece o endereço (BD_ADDR), e possui uma estimativa do valor do relógio do dispositivo ao qual ele deseja se conectar. Por isso, a transmissão de pacotes é fixa (*unicast*) e o tempo de sincronização é menor.

O dispositivo que entra no estado INQUIRY SCAN também entra periodicamente no estado PAGE SCAN. Nesse estado, o futuro escravo aguarda a recepção de pacotes ID com seu código identificador, Device Access Code (DAC), transmitido pelo dispositivo em PAGE.

O dispositivo em PAGE deixa esse estado caso T_{page} , tempo máximo de Page expirar e nenhuma resposta for recebida, ou caso receba resposta. No primeiro caso, o dispositivo retorna para STANDBY; no segundo, entra no estado MASTER RESPONSE.

No estado MASTER RESPONSE, o dispositivo troca informações necessárias para se estabelecer uma conexão mestre-escravo com o dispositivo em SLAVE RESPONSE. Após, entram no estado CONNECTION.

No estado CONNECTION, os dispositivos pertencem a uma *piconet*. Para transmitir ou receber dados, deve ser utilizado o *channel hopping sequence*, determinado pelo endereço BD_ADDR e relógio do mestre.

A seqüência de mensagens trocadas durante o processo de estabelecimento da conexão e os tempos mais significativos estão ilustrados na figura a seguir.

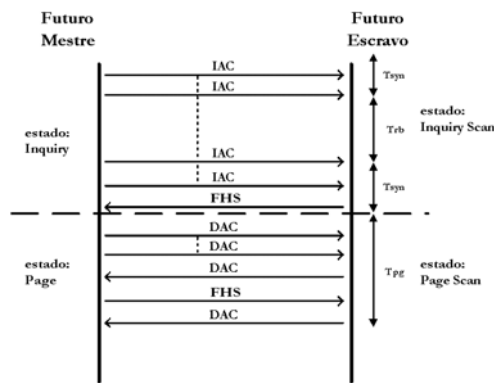


Figura 2-j: Processo de formação do link

Na Figura 2-j ilustra alguns tempos relacionados a conexão, o T_{sync} refere-se ao tempo despendido até transmissor e receptor se sincronizarem, ou seja, quando o transmissor enviar na frequência em que o receptor estiver sintonizado. O T_{rb} é um tempo aleatório entre zero e 1023 segmentos¹⁰, equivalendo a no máximo 639.375ms. O tempo aleatório é utilizado para evitar que ocorram respostas simultâneas ao dispositivo em INQUIRY.

Segundo Theodoros Salonidis et alli[Salonidis01], o tempo para se completar esse processo de Inquiry pode ser representado por:

$$T_{inq} = 2T_{sync} + T_{rb}$$

Desconsiderando a autenticação, e a negociação de outros parâmetros da conexão, o tempo total de gasto para o estabelecimento da conexão, T_{conn} , pode ser representado pela soma dos tempos de inquiry e page:

$$T_{conn} = T_{inq} + T_{pg}$$

Como o page é geralmente executado logo após o inquiry, a estimativa do relógio obtida no INQUIRY reduz o tempo de sincronização. Considerando que o T_{pg} possui um valor reduzido, o maior custo do processo de conexão encontra-se no INQUIRY.

Após finalizar o procedimento de Page, procedimentos LMP para configuração da conexão são executados: pairing¹¹, autenticação e encriptação.

¹⁰ Considerando que cada segmento possui 625µs, temos 625µs * 1023 = 639.375ms

¹¹ Criação e troca de uma chave da conexão entre dois dispositivos. Os dispositivos utilizam esta chave para futuras autenticações durante a troca de informações.

2.4.4 Análise dos parâmetros de conexão

Os parâmetros de Inquiry e Page podem ser alterados para se obter conexões mais eficientes. A especificação define valores padrões com o objetivo de minimizar a energia consumida e maximizar o número de dispositivos descobertos.

O escravo deve desabilitar a conexão ativa para executar Inquiry Scan/Page Scan, conseqüentemente aumentar demasiadamente não é recomendado por prejudicar a aplicação em execução. $T_{wInqScan}$ deve ser aumentado somente quando o $N_{inquiry}$ é menor que 256.

Segundo Siegmund e Rohs[Siegmund02], reduzir o intervalo de inquiry scan, $T_{inqScan}$, é mais eficiente em termos de energia consumida e números de dispositivos encontrados. Este fato foi comprovado em simulações(ver Figura 2-k). Nos experimentos, comprovou-se que aumentar o $T_{wInqScan}$ de 10ms para 320ms não demonstrou ser tão eficiente quanto reduzir o $T_{inqScan}$ de 2,56s para 1s. Isto se deve ao fato que o Page e Inquiry são processos com duração maior e menor periodicidade.

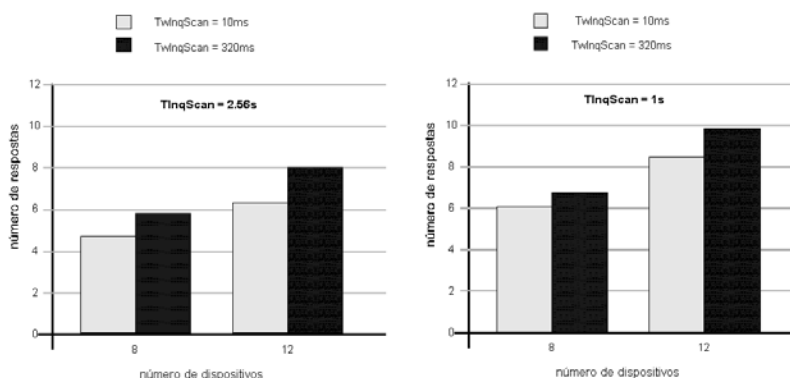


Figura 2-k: Respostas considerando diferentes valores de parâmetros baseband

As inferências em relação ao Inquiry comentados anteriormente também se aplicam ao Page, visto que são processos semelhantes. Reduzir o intervalo de page, $T_{pageScan}$, pode ser mais eficiente que aumentar a janela, $T_{wPageScan}$.

Em contrapartida, reduzir o $T_{inqScan}$ ou o $T_{pageScan}$, aumentam a sinalização pois as conexões ativas devem ser desabilitadas antes de entrar em INQUIRY SCAN ou PAGE SCAN.

2.5 Topologia de Rede

A estrutura básica de comunicação é denominada *piconet*, uma rede pessoal de curto alcance com topologia estrela. Dispositivos podem ser dinamicamente adicionados ou excluídos da rede. Os dispositivos, que compartilham o mesmo canal de saltos, compõem uma *piconet*.

O nodo central, denominado mestre, gerencia a comunicação entre os dispositivos (escravos). Até 8 dispositivos, 1 mestre e 7 escravos ativos, podem ser conectados em uma *piconet*, compartilhando um mesmo canal assíncrono. Não há comunicação direta entre escravos, toda comunicação deve ser intermediada pelo mestre que sincroniza e coordena a transmissão de pacotes, e cujo endereço determina o canal de saltos.

Os escravos podem participar de diferentes *piconets*, e um mestre de uma *piconet* pode participar como escravo em outra. Os dispositivos compartilhados se torna uma ponte de comunicação. Esta topologia é denominada *scatternet*, uma estrutura com múltiplas *piconets*. Como cada *piconet* possui seu próprio canal de saltos, são independentes umas das outras, os dispositivos podem participar de diversas *piconets* através da multiplexação de tempo(TDM).

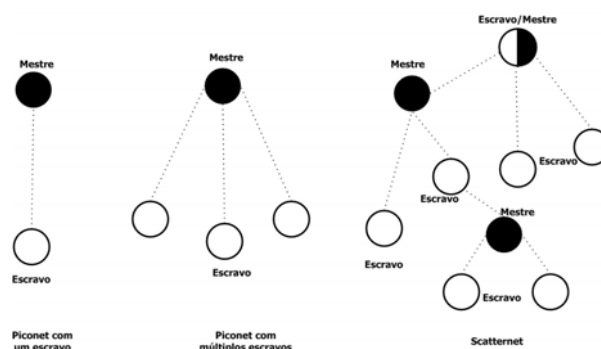


Figura 2-1: Topologia Bluetooth

A sobreposição de *piconet* incorre, obviamente em uma degradação da vazão. Cada *piconet* é independente, entretanto compartilham a mesma banda, e por isso estão suscetíveis a colisões. A degradação do serviço pode ocorrer devido à interferência co-canal ou entre canais adjacentes.

2.6 IP sobre Bluetooth

A solução PPP é considerada ineficiente para redes *ad hoc* por não ser escalável e por permitir somente comunicação ponto-a-ponto. Por isso, em janeiro de 2000, o SIG e o IETF criaram o grupo de trabalho “Bluetooth SIG PAN Working group” para especificar o PAN Profile [PAN01] e BNEP (Bluetooth Networking Encapsulation Protocol) [BNEP01] com o objetivo de aperfeiçoar a transmissão de pacotes IP sobre Bluetooth em topologias *ad hoc*.

Um Bluetooth “Profile” especifica os protocolos e procedimentos requeridos para os diferentes tipos de aplicação. O PAN Profile aborda dois cenários, com arquitetura e requisitos distintos:

- Pontos de acesso - um ponto de acesso é um dispositivo que possui um ou mais dispositivos de rádio Bluetooth e atua como uma ponte(proxy), ou um roteador entre uma rede (10baseT, GSM, WCDMA, etc) e uma rede Bluetooth. O ponto de acesso permite aos dispositivos acessar os recursos compartilhados da rede local e da Internet.
- Grupos *ad hoc* - grupos de redes *ad hoc* consistem de um conjunto de host móveis que cooperativamente formam redes sem-fio *ad hoc* sem a utilização de infra-estrutura adicional. A ênfase deste profile é a formação de *piconets* simples, sem a composição de *scatternets*.

O Bluetooth Network Encapsulation Protocol (BNEP), definido pelo PAN Profile, é utilizado para encapsular datagramas IP. O BNEP é uma camada de adaptação de rede entre a camada de enlace Bluetooth e o IP que abstrai características específicas da tecnologia, oculta a topologia *piconet*, e emula um meio de *broadcast*.

A pilha de protocolos definida pelo PAN Profile é demonstrada na Figura 2-m. Comparando-se com o modelo de referência OSI, a camada física OSI é representada pelo Bluetooth Radio. A camada de enlace é representada pelo Baseband e por parte do L2CAP.

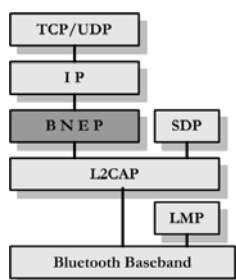


Figura 2-m: Modelo de referência Bluetooth PAN

O BNEP é utilizado para transportar pacotes de dados e controle sobre o protocolo L2CAP Bluetooth. O BNEP fornece capacidades similares as capacidades providas pelo Ethernet (IEEE 802.11). Os requisitos funcionais para o BNEP incluem o suporte para protocolos como IPv4, IPv6, IPX e outros protocolos populares.

Existem divergências em relação à utilização do BNEP. Segundo Atwal e Akers [Atwal01], o BNEP é um método para encapsular IP que possui deficiência, limitações e duplicação de funcionalidade provida diretamente pelo IP. Se considerarmos que o IP fornece serviços de encapsulamento de protocolos atualmente especificados pelo BNEP, o BNEP adiciona um overhead desnecessário. O autor propõe a transmissão de datagramas IP diretamente sobre o protocolo L2CAP.

2.7 Tecnologias de redes de dados sem-fio

Inúmeras tecnologias competem dentro desta área, tecnologias similares, entretanto com diferentes prioridades. Estas podem ser agrupadas em três principais sub-áreas:

- Wireless Personal Area Networks ou WPAN – tecnologias utilizadas para interconexão de dispositivos pessoais. O tamanho, custo e a interoperabilidade são as principais características requeridas. Os principais padrões que possuem este perfil são Bluetooth e IrDa.
- Wireless Local Area Networks ou WLAN – tecnologias comumente utilizadas para conectar o PC a rede. O foco destas tecnologias são largura de banda e facilidades de configuração. Os principais padrões que se adequam são Wi-fi, HomeRF e IEEE 802.11.
- Wide Area Network ou WAN – uma rede de telecomunicações dispersa, representada principalmente pela rede de telefonia celular. Dentro deste contexto, os principais padrões são GSM, GPRS e UMTS.

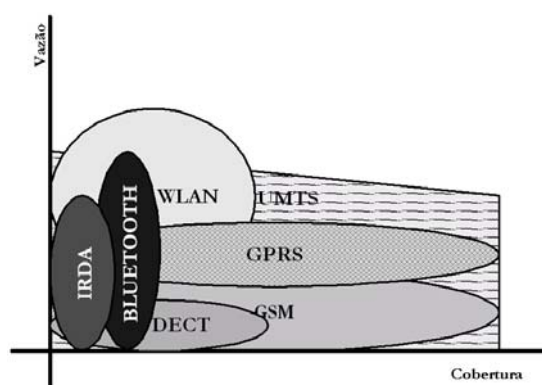


Figura 2-n: Tecnologias wireless

O IrDA (infravermelho) é a tecnologia de menor custo para comunicação peer-to-peer. Entretanto, como não sobrepõe barreiras físicas, os dispositivos devem estar no ângulo de visão um do outro. Outra limitação é o curto alcance, geralmente 1m. Estas características, o torna inviável em contextos de maior mobilidade, ou de maior distância entre os dispositivos. Para estes casos, tecnologias de rádio frequência são mais adequadas.

O DECT é um padrão para telefonia digital sem-fio desenvolvido pela ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Seu objetivo é permitir grande mobilidade aos telefones sem-fio em redes corporativas e residências.

As tecnologias WLANs, como IEEE 802.11 e HomeRF, são soluções para redes corporativas ou residenciais que operam na banda de 2.4GHz e possibilitam a transmissão de grande volume de dados.

GSM é um sistema de telefonia celular digital utilizado amplamente na Europa e outras partes do mundo. GSM utiliza uma variação do TDMA(Time Division Multiple Access), e opera na banda de 900 MHz ou 1800 MHz.

GPRS é um serviço de comunicação sem-fio baseado em pacotes. A taxa de transmissão de dados varia de 56 a 114Kbps. GPRS é baseado no GSM e complementa os serviços de comutação de circuitos celular, Short Message Service(SMS) e Bluetooth.

O UMTS, também denominado "third-generation (3G)", é um padrão de banda larga baseado no GSM para transmissão de texto, voz digitalizada, video e multimídia com taxas de até 2 Mbps. O foco principal deste novo padrão é o roaming global e a integração com comunicação satélite.

Bluetooth permite a transmissão de voz e dados em curto alcance. Pode ser utilizado como tecnologia para substituição de cabos, ou para redes locais. Como foi concebido para operar em qualquer país, implementa mecanismos para permitir uma comunicação segura e transparente.

Nenhuma tecnologia consegue suprir todas as necessidades do usuário, fornecendo a melhor relação custo-benefício em todos os ambientes. No futuro, inúmeras tecnologias deverão coexistir, compondo uma topologia hierárquica.

Cada tecnologia tem um mercado bem definido, as tecnologias citadas anteriormente não são concorrentes diretas do Bluetooth. O infravermelho a única tecnologia que atua parcialmente no mercado do Bluetooth.

2.8 Limitações Tecnológicas

2.8.1 Limitações Gerais

Apesar da maturidade desta tecnologia, ainda há inúmeros problemas em aberto. Os maiores problemas enfrentados pelo Bluetooth são decorrentes da interferência. Por operar na mesma frequência, os fornos de microondas representam uma grande fonte de interferência. Tecnologias de redes sem-fio, como IEEE 802.11 e HomeRF, também operam nessa frequência. A coexistência é uma fonte potencial de interferências. Todas estas tecnologias utilizam saltos de frequência, mas ainda assim estão suscetíveis a colisões. Devido à maior potência de transmissão dessas tecnologias, pode ocorrer a supressão do sinal transmitido pelo dispositivo Bluetooth.

Utilizar eficientemente a bateria é crucial aos dispositivos móveis. Por isso, este problema deve ser considerado durante o projeto do protocolo. Bluetooth suporta os modos *sniff*, *hold* e *park* para economizar energia. No entanto, algoritmos de gerenciamento mais eficientes precisam ser pesquisados. Nesta linha, existem pesquisas no IBM India Research Laboratory, que avaliam novos algoritmos de escalonamento.

Outro problema que merece atenção é o processo de descoberta de dispositivos, o Inquiry pode demorar até 10.24s no pior caso, que ocorre quando o *timeout* é alcançado.

A transmissão de datagramas IP está constantemente sendo discutida. O escalonamento entre *piconets* é outro assunto que necessita ser explorado.

2.8.2 Mobilidade sobre Bluetooth

No futuro aplicações localizadas e transparentes serão comuns. Sistemas de busca de produtos dentro de um shopping, serviços de localização e informações aplicados a um ambiente interno serão os exemplos mais comuns.

Dentro desta linha de pesquisa, dois trabalhos relacionados com o problema de mobilidade foram encontrados na literatura:

Bluetooth Routing Scheme

O trabalho *Bluetooth Routing Scheme*, descrito por Cathal Mc Daid[McDaid00] apresenta um esquema de handoff/roteamento construído sobre a especificação atual. Este trabalho

representa uma solução prática e inovadora para o gerenciamento de mobilidade de dispositivos Bluetooth. Entretanto, possui algumas limitações:

- a comunicação limita-se a uma rede local;
- trabalha somente com o enlace, limitando a portabilidade e flexibilidade de aplicações;
- não possui política de seleção de pontos de acesso;
- não aperfeiçoa o modelo de conexão.

BLUEPAC

BLUEPAC (**BLU**Etooth **P**ublic **AC**cess) apresentado por Baatz et ali[Baatz00] é uma arquitetura que possibilita dispositivos Bluetooth acessar redes locais em áreas públicas. Este trabalho concentra-se nos requisitos necessários na camada de rede para suporta mobilidade e *handoff* entre diferentes pontos de acesso. O protocolo definido utiliza IP Móvel (seção 3.3) para gerenciar a macro mobilidade, e o Cellular IP (seção 3.4.2) para o controle da micro-mobilidade.

Todos os dispositivos em uma BLUEPAC LAN (estações base, roteadores, servidores de aplicação e dispositivos Bluetooth) devem utilizar BLUEPAC IP, mas a comunicação com hosts IP fora da rede é possível sem nenhuma alteração na pilha de protocolos do dispositivo.

As principais limitações do BLUEPAC são:

- Todos os dispositivos devem implementar o protocolo Cellular IP;
- O roteamento IP padrão é substituído pelo roteamento do Cellular IP;
- Utiliza um *Link supervision timer* para detectar perda de conexões. Esse timer é reinicializado sempre que um pacote é recebido. Quando o timer expirar, significa que um grande tempo decorreu sem a recepção de pacotes. Esse mecanismo incorre em elevada latência, o limite definido é de 20s;
- não aperfeiçoa o modelo de conexão.

2.9 Resumo

Bluetooth é uma especificação global para conectividade sem-fio que segue uma visão de baixo-custo e baixa potência. A especificação Bluetooth compreende *hardware*, *software* e requisitos de interoperabilidade. Os protocolos Bluetooth foram definidos para facilitar o desenvolvimento rápido de aplicações que podem se beneficiar da tecnologia sem-fio Bluetooth. Os protocolos de baixo nível foram concebidos para permitir flexibilidade, transparência e agilidade.

Considerando que comunicação sem-fio não é somente uma questão de conectividade global, Bluetooth se classifica dentro do conceito de WPAN e segue a tendência da computação ubíqua. Esta tecnologia emergente promete solucionar o problema de interconectividade entre dispositivos de modo instantâneo e confiável.

Este capítulo apresentou uma visão geral sobre a tecnologia. Os principais aspectos abordados foram o modelo de conexão e características do enlace. Outro assunto abordado foram as limitações da tecnologia e os trabalhos relacionados à mobilidade que estão sendo realizados no meio acadêmico.

Capítulo 3

Mobilidade IP

A convergência da 3ª geração para redes IP, associada à necessidade de mobilidade do usuário, incentivou o desenvolvimento de protocolos para o gerenciamento de mobilidade. O IP Móvel, RFC 2002, é uma proposta da IETF¹² (Internet Engineering Task Force) para permitir a transparência de localização do terminal.

Este capítulo apresenta o IP Móvel e suas otimizações, protocolos de micro-mobilidade: IP Móvel Hierárquico, Cellular IP e HAWAII.

As informações apresentadas neste capítulo serão úteis para auxiliar o leitor no decorrer do próximo capítulo.

¹² A IETF é uma grande comunidade internacional aberta composta por projetistas de redes, operadoras, fornecedores de equipamentos, e pesquisadores preocupados com a evolução da arquitetura da Internet.

3.1 Introdução à Mobilidade

A disseminação de dispositivos portáteis e aparelhos celulares criou uma demanda por soluções que permitam comunicação transparente e contínua. A conveniência e a liberdade permitida atraem cada vez mais usuários. O futuro das redes de telecomunicações segue o caminho ditado pela computação ubíqua: *anywhere and anytime*.

Atualmente, as pesquisas de mobilidade na Internet focalizam a mobilidade de terminais. No futuro, o foco será a mobilidade do usuário, localizar pessoas ao invés de dispositivos, independentemente da tecnologia de acesso utilizada.

As atuais soluções para permitir mobilidade, ainda estão amarradas aos detalhes das tecnologias, são gerenciadas na camada de enlace, e geralmente são soluções proprietárias. O gerenciamento na camada de rede permite a abstração da tecnologia do enlace, e favorece o gerenciamento da qualidade de serviço. O protocolo mais difundido desta camada é o IP.

O IP possui endereçamento fixo, a mobilidade de terminal não foi prevista no projeto e implementação de redes fixas. Com o IP atual, o terminal que se deslocar para outra sub-rede deve alterar seu endereço IP. Isto resolve o problema de acesso à rede, mas não soluciona o problema de localização e nem permite a continuidade de uma comunicação ativa. A alteração do endereço IP afeta o roteamento de datagramas e exige a criação de uma nova conexão.

O IP Móvel é a proposta mais conhecida, e que provê um mecanismo para gerenciar a mobilidade de terminal em redes IP. As novas funcionalidades propostas enriquecem o IP sem perder atual semântica de endereçamento fixo. A arquitetura atual da Internet deve permanecer, o mecanismo de gerenciamento da mobilidade deve ser construído sobre a atual estrutura de endereçamento.

O problema da mobilidade é geralmente dividido em duas partes: macro-mobilidade e micro-mobilidade. A distinção depende da escala do movimento do dispositivo. Na visão de macro-mobilidade, o dispositivo móvel desloca-se para outra rede ou sub-rede. Na micro-mobilidade, o dispositivo muda ponto de conexão dentro da rede local. As características do IP Móvel o torna adequado para manipular a macro-mobilidade, em deslocamentos constantes o IP Móvel é inadequado por inserir sinalizações excessivas.

Para tratar a micro-mobilidade, inúmeras propostas tem sido sugeridas: Cellular IP[Campbell00] , HAWAII[Ramjee99] e IP Móvel Hierárquico[Soliman01]. A finalidade destes protocolos é gerenciar localmente a mobilidade para minimizar a latência de atualização das entidades e evitar sinalizações desnecessárias.

3.2 Próxima Geração de Redes Heterogêneas

Segundo Akyildiz et ali[Akyildiz98], ignorar as barreiras físicas e deslocar-se transparentemente, sem preocupar-se com interoperabilidade ou localização, é uma das metas da próxima geração de rede de telecomunicações.

A terceira geração (3G) foi proposta com o objetivo de fornecer uma integração transparente de serviços de multimídia em uma única infra-estrutura de rede global. Os sistemas 3G distinguem-se da 2G por utilizar comutação de pacotes (IP), possuir maior largura de banda e permitir interoperabilidade entre diferentes padrões 3G. O padrão para a 3G, denominado IMT-2000, está sendo definido pelo ITU (International Telecommunications Union).

A especificação do IMT-2000 inclui uma estrutura de células hierárquicas. Ambientes internos cobertos por pico-células de alta capacidade. Áreas urbanas e suburbanas cobertas por micro e macro-células. E áreas mais remotas por células de satélite.

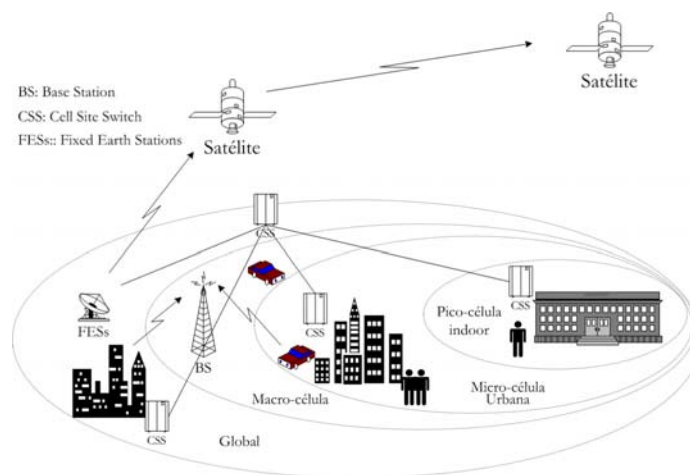


Figura 3-a: Próxima geração de redes heterogêneas

Enquanto a 3G tem como desafio unificar as redes celulares, *cordless*, e *paging* em uma infra-estrutura de rádio transparente para utilização universal, a 4G tem como meta oferecer serviços heterogêneos e transcender as barreiras geográficas. Para suportar *roaming*, as futuras redes requererão integração e interoperabilidade no processo de gerenciamento de mobilidade entre diferentes operadoras.

O desenvolvimento da 4G ainda é dependente das futuras demandas dos usuários e questões econômicas. Espera-se que a 4G forneça alta mobilidade, transmissão IP fim-a-fim, gerenciamento de QoS e altas taxas de transmissão em torno de 20Mbps

A próxima geração de redes sem-fio permitirá mobilidade do terminal, mobilidade pessoal, e portabilidade de provedor de serviços. Entretanto, acordos entre regiões e provedores de serviços deverão ser feitos para possibilitar o deslocamento transparente.

Na mobilidade do terminal, a rede deve encaminhar chamadas ao terminal, independentemente do seu ponto de conexão. A mobilidade pessoal se refere à possibilidade do usuário utilizar seus serviços pessoais, independentemente do seu ponto de conexão ou terminal. A portabilidade de provedor de serviços permitirá ao usuário/terminal transcender a sua área de serviço, outros provedores compatíveis poderão acomodar dispositivos provenientes de outras localizações.

No futuro, dispositivos com múltiplas interfaces serão comuns. O nível de transparência dependerá dos acordos de *roaming* global entre os diferentes países, das regiões e provedores de serviços, e da harmonização de frequências.

Devido à popularidade e ubiquidade das redes IP, há diversos esforços para se utilizar IP sobre as redes sem-fio. É esperado que as futuras gerações de comunicações móveis, incluindo a 3G e a redes sem fio de banda larga, forneçam uma ampla variedade de serviços compatíveis com os disponíveis na Internet atual.

O IP fornece um *framework* que permite o desenvolvimento de aplicações independente de tecnologia de acesso. No futuro, a tendência é que tecnologias heterogêneas coexistam. O IP pode ser visto como uma “cola”, um protocolo que permitirá a interoperabilidade de diferentes tecnologias.

Na terceira geração, a implantação do IP está sendo definida. O 3GIP está definindo uma arquitetura de rede 3G baseada em tecnologias de comutação de pacote e telefonia IP para prover simultaneamente serviços sem restrições temporais e de tempo real. Maiores informações sobre esse processo podem ser encontradas no site da organização[3GIP].

3.3 IP Móvel

A pilha de protocolos IP foi concebida para fornecer uma camada de transporte comum em redes heterogêneas. O grande crescimento da comunicação móvel, impulsionada principalmente pelas aplicações Internet e multimídia, fez surgir a necessidade de novas funcionalidades não previstas inicialmente pelo IP. A camada de rede assume que o endereço IP do *host* significa sua localização na Internet. Esse endereçamento fixo do IP restringe a localização do *host* e a sua transparência.

O grupo de trabalho IETF Mobile IP estuda soluções para permitir a mobilidade de terminal através de sub-redes IP (IPv4 ou IPv6). A pesquisa focaliza o roteamento de datagramas para permitir ao *host* o deslocamento transparente entre pontos de conexão. O objetivo é permitir que o *host* continue localizável com a mudança de sub-rede sem perder a semântica de endereçamento atual.

3.3.1 Entidades

As entidades apresentadas na Figura 3-b representam as principais entidades lógicas responsáveis pelo gerenciamento de mobilidade. A figura em questão ilustra o deslocamento de um Mobile Node de sua rede origem, Home Network(HN), para uma outra rede com suporte a IP Móvel, Foreign Network(FN).

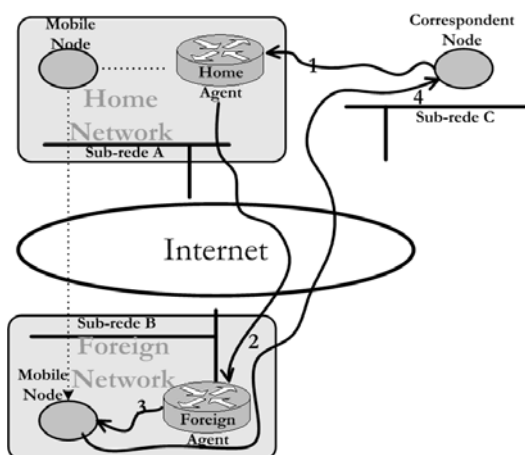


Figura 3-b: Arquitetura do IP móvel

As principais entidades lógicas da arquitetura do IP Móvel estão descritas abaixo:

Mobile Node (MN)

O MN é uma entidade que pode deslocar-se de uma rede para outra na Internet. Possui dois endereços: *Home Address* e um *Care-of-Address*. Na rede home, o MN acessa Internet através do HA. Na rede que está visitando, através do Foreign Agent. A tecnologia do enlace é desconsiderada, a IETF se restringe ao estudo do roteamento IP.

Correspondent Node (CN)

Denominação fornecida a qualquer entidade que envia pacotes ao Mobile Node. O CN pode ser um dispositivo móvel ou fixo.

Home Agent (HA)

Roteador situado na Home Network que gerencia a localização dos MNs a ele registrados. Quando o MN está ausente de seu Home, em uma Foreign Network, o HA intercepta os pacotes destinados ao endereço do MN e os encaminha ao *care-of-address* registrado.

Foreign Agent (FA)

Roteador situado na rede visitada pelo MN, Foreign Network, que coopera com o HA para entregar datagramas ao MN quando ele está fora de seu Home. O FA executa o desencapsulamento e o encaminhamento dos datagramas ao MN.

3.3.2 Roteamento no IP Móvel

O IP Móvel permite ao MN manter seu endereço IP independentemente de seu ponto de conexão na rede. Cada MN utiliza dois endereços IPs. O primeiro, é denominado *home address*, endereço estático cujo propósito é identificação. O segundo, *care-of-address* (CoA), é o endereço na Foreign Network. Portanto, este endereço indica a atual localização do MN devendo respeitar as regras de endereçamento IP. A atribuição de endereços e o encaminhamento de pacotes na rede visitada são gerenciados pelo FA.

O MIP fornece duas alternativas para aquisição de *care-of-address*:

- *Foreign Agent care-of-address*: *care-of-address* fornecido pelo FA. Neste caso o *care-of-address* é um endereço IP do FA. Portanto, o FA é o ponto-final do túnel de comunicação, sendo responsável pelo desencapsulamento e encaminhamento de datagramas aos MNs. Considerando a escassez de endereços IPs, este modo é o

mais adequado por possibilitar o compartilhamento de um mesmo endereço *care-of-address* entre todos os MNs visitantes.

- *Co-located care-of-address*: é um endereço local associado das interfaces do MN. No IPv6 a auto-configuração é feita pelos métodos *stateful*¹³ ou *stateless*¹⁴. Neste modo de endereçamento o MN é o ponto final da comunicação, portanto é o responsável por desencapsular os datagramas. A grande vantagem deste modo é a possibilidade de funcionamento sem o FA, por outro lado requer a alocação de uma faixa de endereços IPs aos MNs visitantes.

Por trabalhar na camada de rede, controla o roteamento de datagramas e por esta razão pode manipular a mobilidade em diferentes meios: LANs, conexões dial-up, redes sem-fio, etc. Sua principal característica é a transparência para as aplicações, o endereço IP original não necessita ser alterado para permitir mobilidade.

A Figura 3-b apresenta as entidades do IP Móvel e o funcionamento do roteamento de datagramas IP. Neste cenário, o MN se deslocou e não se encontra em sua Home Network. Assumindo que o MN se registrou em uma Foreign Network, e obteve um *care-of-address* e o informou ao seu HA. O passo 1, representa o envio de um datagrama IP do CN para o *home address* do MN. O HA intercepta o datagrama e, ciente do deslocamento, encapsula e encaminha o datagrama ao *care-of-address* indicado pelo registro, passo 2. No passo 3, o FA desencapsula e encaminha o datagrama ao MN. Quando o MN envia um datagrama (passo 4), utiliza seu próprio endereço IP (*home address*) no campo fonte do cabeçalho IP e no campo destino, o endereço do CN.

Quando se utiliza o *co-located care-of-address* o roteamento é direto. O FA não precisa intervir. Os passos 2 e 3 diferem, no encapsulamento (passo 2) o ponto final é o endereço IP *co-located care-of-address*.

Todo pacote enviado ao MN deve transitar através de seu HA, este problema é conhecido como roteamento triangular. Para eliminar essa carga e latência, o *draft* IETF: “Route Optimization in Mobile IP” [Perkins01b] propõe uma metodologia para se eliminar este problema. Neste documento são propostos mensagens de otimização de rotas e extensões ao protocolo base. Utilizando estas extensões os CNs podem manter uma *cache* de endereços do MN, o que possibilita encaminhar os datagramas diretamente para o *care-of-address* do MN.

¹³ Método de auto-configuração IPv6 equivalente ao DHCP.

¹⁴ Método de auto-configuração IPv6, que compõe o endereço combinando o endereço IEEE MAC da interface com o prefixo da sub-rede.

3.3.3 IP Móvel v4 e IP Móvel v6

O IPv6 substituirá o IPv4 em um futuro próximo. Os dispositivos portáteis constituirão uma fração substancial na Internet. O IPv6 objetiva eliminar a escassez de endereços IP, e reduzir os problemas de roteamento e segurança. A mobilidade IP é uma parte padronizada do IPv6, planejada desde sua concepção.

O IP móvel v4 (MIPv4) e o IP Móvel v6 (MIPv6) compartilham idéias similares, mas a implementação difere em determinados aspectos. A sinalização de mobilidade e as características de segurança (IPsec) estão integradas no MIPv6 como extensão de cabeçalho. O MIPv4 utiliza datagramas UDP para estes propósitos.

A otimização de rotas para evitar o roteamento triangular é uma parte integral do MIPv6. No MIPv4 a otimização de rotas é uma funcionalidade adicional.

3.3.4 Problemas do IP Móvel

Ainda há inúmeros problemas abertos no IP móvel que necessitam serem solucionados. Esta seção apresenta os principais problemas e a referência de algumas propostas para solucioná-los.

Embora o IP Móvel trate de modo uniforme todos os tipos de mobilidade, não diferencia pequenos deslocamentos (entre estações bases) de deslocamentos entre domínios. Portanto, é inadequado para gerenciar a micro-mobilidade. Na micro-mobilidade o IP móvel insere uma sinalização desnecessária, pois a cada deslocamento o HA deve ser informado. Objetivando eliminar este problema foram propostos trabalhos como: Hierarchical Mobile IP v6, Cellular IP e HAWAII. Estes trabalhos serão discutidos nas seções: 3.4.1, 3.4.2 e 3.4.3 respectivamente.

Outro problema decorrente da micro-mobilidade é dificuldade do gerenciamento da qualidade de serviço com as freqüentes mudanças de pontos de conexão e *care-of-address*. A mudança freqüente de endereços soluciona a problema da computação nômade, mas não a mobilidade. A mudança de endereço incorre em reiniciar a comunicação na camada de transporte.

No IP Móvel a concentração de responsabilidades sobre o HA pode ser considerada uma falha. A funcionalidade do sistema é totalmente dependente desta entidade, se o HA falha, a localização do MN fica comprometida. O impacto deste problema pode ser amenizado no MIPv6 e no MIPv4 com otimização de rotas e utilização *caches*, assim o Home Agent não estaria envolvido na entrega de todos os pacotes.

3.3.5 Otimizações

Existem inúmeros *drafts* IETF que objetivam eliminar/minimizar alguns problemas do IP Móvel. Esta seção apresenta alguns *drafts* que foram empregados para fundamentar o trabalho desenvolvido.

Fast Handoff

O *draft* “Fast Handovers for Mobile IPv6” [Dommetry01], submetido ao Mobile-IP Working Group IETF apresenta uma proposta que possibilita aos MNs se conectarem mais rapidamente aos pontos de conexão com a Internet – reduzir a latência do *handoff*.

Procedimentos de sinalização adicionais e otimizações são propostos para serem empregados sobre o procedimento básico de *handoff*, especificado no MIPv6. Um mecanismo de antecipação do movimento é utilizado. Triggers¹⁵ L2 são utilizados para permitir a antecipação do *handoff* L3.

Amarrações Simultâneas

O *draft* “Simultaneous Bindings for Mobile IPv6 Fast Handoff” [Malki01] estende o protocolo descrito na seção anterior, adicionando amarrações simultâneas durante o *handoff*. Esta técnica procura contornar a incerteza do deslocamento, mas provoca uma sobrecarga na rede. O tráfego para o MN se torna *bicast*¹⁶ ou *n-cast*¹⁷ para os prováveis deslocamentos por um curto período. O *stream* de pacotes destinados ao MN é simultaneamente transmitido ao roteador de acesso atual e para um ou mais roteadores que possuem probabilidade de servir futuramente ao MN.

Esta técnica objetiva reduzir a perda de pacotes durante o *handoff*, e desacoplar o *handoff* L3 do *handoff* L2. Ou seja, diminuir a dependência entre camadas e possibilitar maior independência da tecnologia de acesso utilizada.

O *handoff* L2 é definido como a mudança da conexão no enlace sem-fio de um ponto de acesso para outro. Enquanto que no *handoff* L3 ocorre a mudança do endereço de roteamento de um AR para outro.

¹⁵ Trigger L2 é uma abstração de uma notificação da Camada 2 (L2 – layer 2) que informa a ocorrência/iminência de determinado evento.

¹⁶ O *stream* é transmitido para o AR atual e para o novo AR.

¹⁷ O *stream* é transmitido para o AR atual e para os prováveis ARs que poderão vir a servir o Mobile Node.

Em muitas tecnologias de redes sem-fio não é possível saber com exatidão quando o MN deve efetuar o *handoff*. Portanto, determinar quando o encaminhamento de pacotes entre o roteador de acesso anterior e o novo deve iniciar não é trivial. Por isso, o único modo de contornar esse problema é inserir redundância de *stream*, transmitindo simultaneamente para os prováveis destinos durante um curto período.

3.4 Protocolos de Micro-Mobilidade

A IETF e outros grupos de pesquisas estão discutindo inúmeras otimizações para reduzir a latência, perda de pacotes e sobrecarga durante o *handoff*. Esta seção apresenta uma breve descrição do princípio básico de funcionamento de diferentes propostas de protocolos de micro-mobilidade.

3.4.1 IP Móvel Hierárquico v6

O Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) proposto por Soliman et alli[Soliman01], utiliza o espaço de endereçamento do IPv6 e o protocolo *Neighbor Discovery*¹⁸ para prover um gerenciamento de mobilidade flexível, escalável e robusto. Este modelo de gerenciamento hierárquico objetiva reduzir a latência do *handoff* e a sinalização aos CNs e HA.

O conceito de hierarquia é fundamentado em novo nodo introduzido ao IP móvel padrão: Mobility Anchor Point (MAP). A introdução desta entidade minimiza a latência do *handoff* entre ARs. A mobilidade dentro da sub-rede é manipulada localmente, o que reduz a sinalização para fora do domínio.

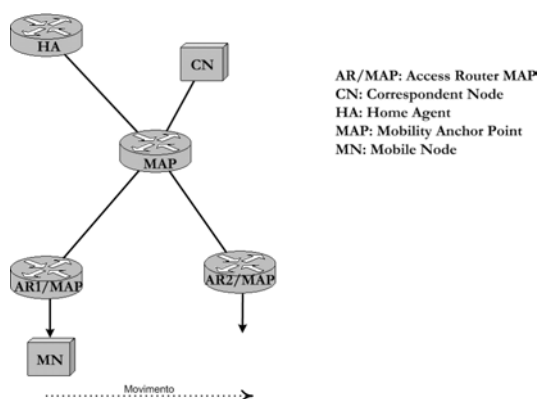


Figura 3-c: Hierarchical Mobile IPv6 domain

Quando um MN se aproximar de um domínio MAP e se conecta a um AR, o MN obtém um *Regional Care-of-Address* (RCoA) no domínio e um *on-link Care-of-Address* (LCoA). O RCoA é um endereço na sub-rede do MAP atribuído a uma das interfaces do MAP. Este

¹⁸ O protocolo *Neighbor Discovery* está definido na RFC 2461. É utilizado para descobrir roteadores, determinar endereço de enlace, e encontrar/manter as informações de rotas para os vizinhos (nodos conectados ao mesmo *link*).

conceito é semelhante ao *foreign agent care-of-address* discutido previamente. O LCoA é um endereço local, restrito ao domínio do MAP corrente.

3.4.2 Cellular IP

Este é um projeto desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Columbia, New York. O protocolo incorpora importantes características presentes nas redes de telefonia celular, mas permanece firmemente baseado nos princípios de projeto do IP, destas características surgiu seu nome.

Cellular IP é um protocolo de micro-mobilidade, otimizado para fornecer mobilidade transparente, conectividade passiva, e *paging*. Em conjunto com o Mobile IP, que gerencia a macro-mobilidade, fornecem um gerenciamento eficiente da mobilidade.

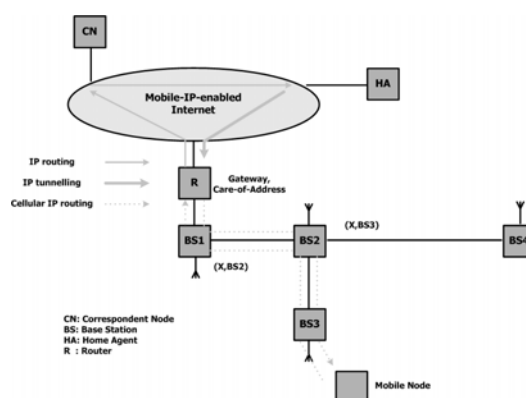


Figura 3-d: Rede de Acesso Cellular IP

Cellular IP é um protocolo de roteamento que **substitui** o roteamento IP e o mecanismo de encaminhamento (*forwarding*), por um roteamento *hop-by-hop* utilizando tabelas específicas, sem alterar o formato do datagrama IP. Para aumentar a eficiência, o gerenciamento de localização e o suporte a *handoff* estão integrados com o roteamento.

3.4.3 HAWAII

Handoff-Aware Wireless Access Infrastructure (HAWAII) apresentado por Ramjee et alli [Ramjee99], é um protocolo de micro-mobilidade proposto por pesquisadores da Lucent Technologies. Semelhantemente ao Cellular IP, a macro-mobilidade é gerenciada pelo Mobile IP. No entanto, difere do Cellular IP por não substituir o roteamento IP.

HAWAII utiliza uma estratégia de segregação de rede em hierarquias de domínios para possibilitar mobilidade transparente. O domínio consiste de roteadores IP e estações base. Todas essas entidades devem suportar a sinalização do HAWAII.

As estações estão organizadas em um esquema hierárquico no domínio. O controle administrativo de cada domínio incide sobre uma única autoridade: o *domain root router*, que atua como um *gateway* para a Internet e permite o gerenciamento distribuído através da rede. A descentralização torna o protocolo menos sensível aos problemas nas estações base ou falha na conexão.

A estação base é funcionalmente um Foreign Agent Mobile IP. Quando um Mobile Node se conecta a esta estação, um *co-located care-of-address* é atribuído. Este endereço permanece inalterado enquanto o MN movimenta-se dentro do domínio. Manter o endereço constante simplifica o controle da qualidade de serviço.

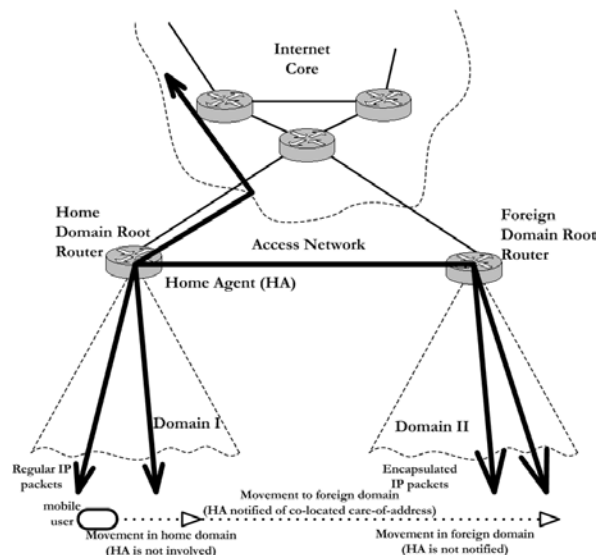


Figura 3-e: HAWAII

A mobilidade é dividida em: *handoff intra-domain* e *handoff inter-domain*. O primeiro caso é gerenciado pelo HAWAII; o segundo, pelo IP móvel. Dentro do domínio, o gerenciamento da mobilidade é local, não há notificações ao HA.

O princípio básico de funcionamento é similar ao Cellular IP. Cada estação mantém uma *cache* de localização e uma de *paging*. O que difere é a política de gerenciamento/atualização das *caches*.

3.5 Resumo

Este capítulo apresentou uma visão geral sobre o IP móvel, soluções para micro-mobilidade: IP Móvel Hierárquico, Cellular IP e Hawaii, e aspectos do processo de *handoff*. Os protocolos de mobilidade IP implementam mecanismos de roteamento para permitir deslocamentos transparentes entre sub-redes IP.

O IP Móvel é mais adequado para gerenciar a computação nômade, em contextos de elevada mobilidade o IP Móvel possui elevada latência e insere sobrecarga de sinalizações. Para cenários de elevada mobilidade, os protocolos de micro-mobilidade são mais adequados, pois segregam o gerenciamento em dois níveis hierárquicos.

Os protocolos de micro-mobilidade possuem diferentes arquiteturas e implementam diferentes mecanismos de sinalizações, mas o objetivo destes protocolos é essencialmente o mesmo: diminuir a sinalização para fora do domínio.

Capítulo 4

Arquitetura de Gerenciamento de Mobilidade

Esse capítulo apresenta uma proposta para permitir o *handoff* de dispositivos Bluetooth entre pontos de acesso. Devido à alta latência do modelo de conexão atual, apresentamos um novo modelo que elimina as deficiências de sincronização. Definimos os requisitos do enlace e da camada de rede. Focamos o enlace, sobre o qual definimos as alterações na Baseband e no LMP. Na camada de rede apenas enumeramos as RFCs/*drafts* necessários para suportar o IP Móvel v6 e o *handoff* L3.

4.1 Introdução

Bluetooth foi inicialmente projetado para substituição de cabos entre dispositivos. Seu modelo de conexão não foi desenvolvido para permitir deslocamentos freqüentes. A atual funcionalidade assemelha-se a uma computação nômade, na qual cada sessão está restrita a um ponto de acesso e não há mecanismos para permitir a transferência de uma conexão ativa entre pontos de acesso.

Neste capítulo propomos uma arquitetura para suportar *handoff* transparente entre pontos de acesso Bluetooth. Herdamos o legado definido no IP Móvel [Perkins01a] e no Hierarchical Mobile IPv6 [Soliman01] para manipular a mobilidade na camada de rede. No enlace, definimos métodos para reduzir a latência do estabelecimento da conexão, e definimos novas primitivas para permitir a sinalização do *handoff* e a transferência de informações entre as entidades.

No futuro, acredita-se que as redes serão puramente IP, e com uma estrutura de células hierárquicas compostas por tecnologias heterogêneas. O IP pretende unificar diferentes tecnologias: redes locais sem-fio de banda larga, WPANs e sistemas de terceira geração. A unificação poderá permitir a abstração do meio de acesso e interoperabilidade de aplicações.

Acreditando na revolução IP e no poder de penetração de mercado do Bluetooth, desenvolvemos este trabalho com o objetivo de agregá-lo a esse novo contexto. Com a possibilidade de *roaming* global e integração entre redes, desenvolver soluções robustas e flexíveis é fundamental para a sobrevivência de qualquer tecnologia.

O *handoff* é um evento mais freqüente em ambiente pico-celular. Nestes ambientes, o gerenciamento da mobilidade é extremamente oneroso devido ao excesso de sinalizações necessárias e ao rígido controle da qualidade da conexão. Por outro lado, maximizar o uso de tecnologias de curto alcance quando o serviço está disponível traz benefícios ao usuário: maior banda e isenção de tarifação.

A metodologia proposta ataca dois problemas: na camada de rede, a latência da atualização de rotas; e no enlace, o elevado tempo de estabelecimento de conexões.

Na camada de rede estamos considerando dois tipos de mobilidade: macro-mobilidade e a micro-mobilidade. A macro é gerenciada pelo IP Móvel v6; e a micro, pelo IP Móvel Hierárquico v6. Utilizamos o HMIPv6 para amenizar o impacto causado pelo modelo de conexão complexo e de elevada latência.

O IETF abstrai detalhes do enlace. Na camada de rede, aproveitamos as pesquisas de mobilidade IP e as aplicamos ao Bluetooth. Apenas citamos os *drafts*/RFCs necessários para suportar a mobilidade.

O foco maior foi dado ao enlace, nesta camada propomos um novo método para reduzir o tempo de conexão, e definimos comandos LMP para sinalizar o *handoff* e transmitir informações entre as entidades. Para auxiliar o *handoff*, definimos fórmulas para a classificação dos pontos de acesso.

Durante o estabelecimento de uma conexão, as execuções dos processos Inquiry e Page inserem elevada latência. Com base em análises sobre a influência dos parâmetros sobre o tempo de conexão, propomos configurações adequadas ao contexto com o objetivo de reduzir o tempo de conexão.

Utilizamos comandos LMP para sinalizar o *handoff* devido a sua prioridade sobre o tráfego IP. Estes comandos são utilizados para disparar o processo de estabelecimento de uma conexão e transmitir informações sobre a configuração dos pontos de acesso.

Para evitar tomadas de decisões ineficientes, definimos métodos para se classificar os pontos de acesso, de modo a se obter balanceamento de carga e redução do número de *handoffs* bloqueados.

Optamos por utilizar IPv6 devido à convergência iminente, às otimizações de roteamento e ao maior espaço de endereçamento disponível. A escassez de endereços e o roteamento ineficiente em ambiente dinâmico tornam o IPv4 inviável.

Serviços de autenticação e privacidade estão fora do escopo deste trabalho. Não é objetivo deste pesquisar novas propostas na camada de rede. Nesta camada, nossa pesquisa restringe-se à enumeração dos requisitos dos dispositivos Bluetooth para suportar o IP Móvel. Os focos são os métodos para se otimizar o estabelecimento da conexão e os requisitos de enlace: mensagens de sinalização, configuração da Baseband e suporte ao IP.

Bluetooth emprega TDM (Time Division Multiplexing). Esta característica influencia diretamente a metodologia de *handoff* a ser empregada. O TDM impossibilita a adoção de *soft-handoff*¹⁹. A multiplexação por tempo restringe a tecnologia, pois não permite que um dispositivo receba simultaneamente informações provenientes de fontes diferentes.

¹⁹ No *soft handoff* o dispositivo móvel mantém um *link* de rádio com uma ou mais estações base enquanto mantém a conexão com a estação base anterior. Este tipo é utilizado em sistemas CDMA, como IS-95.

Em decorrência deste fato, o *hard*²⁰ *handoff* deve ser empregado. A tomada de decisão é efetuada somente quando a força do sinal do novo ponto de acesso for detectada. Caso a força do sinal seja adequada o *handoff* é efetuado, senão outros pontos de acesso são avaliados. Durante o *handoff* o dispositivo deve permanecer desabilitado em intervalos regulares no ponto de acesso corrente enquanto procura por outros que possam servi-lo.

Segundo Juntong Liu [Liu98], futuramente teremos dispositivos com múltiplas interfaces de tecnologias diferentes, o *handoff* entre tecnologias possibilitaria uma utilização mais eficiente do espectro de frequências e traria benefícios aos usuários em termos de banda disponível e custo. No entanto, ainda há inúmeros problemas que necessitam ser solucionados: políticas de *handoff*, características de rádio, etc.

Como ainda não há suporte suficiente para atacarmos esta abordagem, adotamos uma metodologia flexível para permitir futuramente a integração dentro desta perspectiva heterogênea.

Como não há plataformas de desenvolvimento com as funcionalidades requeridas, optamos por simular aspectos chaves da proposta. Como base, utilizamos o Network Simulator [NS] com a extensão BlueHoc [Bluehoc]. O NS simula somente aplicações no nível IP, a extensão BlueHoc permite simular características do enlace Bluetooth. Simulações foram realizadas para avaliar a Baseband Bluetooth, cujo tempo de conexão representa a principal restrição para suportar o *handoff*. Os resultados e a metodologia de simulação empregada estão descritos no Capítulo 5.

²⁰ Ocorre a interrupção da conexão com a estação base antiga antes de se estabelecer a conexão com a nova estação base. O dispositivo móvel comunica-se somente com uma estação base por vez.

4.2 O modelo de conexão

O modelo de conexão atual utiliza diferentes seqüências de saltos, que são utilizados em fases distintas do processo de estabelecimento da conexão. A estruturação do modelo atual insere elevada complexidade e latência.

Além destes problemas, a permanência nos estados INQUIRY/PAGE representa um elevado custo de tempo e consumo de energia. Um dispositivo interrompe o INQUIRY caso o tempo máximo de Inquiry(*T_{inquiry}*), expirar ou quando o número de respostas configurado na *Baseband* for alcançado. O PAGE, quando o *T_{page}* expirar ou quando a conexão completar.

Semelhantemente, no INQUIRY SCAN e PAGE SCAN o consumo de energia é elevado, maior que no modo de operação normal. Isto representa um fator crítico na concepção de sistemas embarcados com suporte a Bluetooth.

A seção 4.2.1 apresenta os problemas de sincronização do modelo de conexão atual. Objetivando melhorar a eficiência em ambientes de elevada mobilidade, apresentamos na seção 4.2.2 um novo modelo de conexão para a redução da latência de conexão. A redução no tempo de conexão obtida é fundamental para tornar viável a arquitetura proposta, bem como para aplicações que requerem um tempo de conexão reduzido.

4.2.1 Problemas de Sincronização

No Inquiry, a especificação define que cada uma das duas seqüências deve ser transmitida 256 vezes antes que a outra seja selecionada, e devem ser efetuadas pelo menos três alterações de seqüência. Considerando que cada seqüência gasta 10ms para ser transmitida, o tempo máximo de permanência no estado INQUIRY é da ordem de 10.24s(256 x 10ms x 4).

Os dispositivos Bluetooth são independentes: sem executar o Inquiry o mestre não possui informações sobre quais são os dispositivos ao alcance e quais operações executarão em um determinado momento. Por isso, um elevado grau de repetição é aplicado. Esse modelo torna-se inadequado quando o objetivo maior é agilidade de conexão.

A tabela a seguir apresenta o tempo mínimo, médio e máximo gastos pelos procedimentos de Inquiry e Page. Estes valores foram extraídos do site Palowireless [Palowireless].

Operação	Tempo min	Tempo médio	Tempo max
Inquiry	0,00125s	3-5s	10,24-30,72s
Page	0,00125s	1,28s	2,56s
Total	0,00375s	4,28-5,28s	12,8-33,28s

Tabela 4-a: Tempos de Inquiry e Page

Tabela extraída do site Palowireless[Palowireless]

Como demonstrado pela Tabela 4-a, o tempo total de conexão é extremamente elevado. Se considerarmos contextos onde há alta mobilidade, ou com restrições temporais rígidas, a atual especificação é inadequada devido à elevada latência.

No modelo atual, devido à divisão das frequências em duas seqüências (A e B), podem ocorrer problemas sincronização quando a frequência de INQUIRY SCAN não pertence à seqüência utilizada pelo dispositivo em INQUIRY.

No inquiry são necessárias duas sincronizações para o dispositivo em INQUIRY SCAN responder. A resposta é representada pelo envio do pacote FHS contendo informações sobre endereço do escravo e configurações baseband. A Figura 4-a contextualiza as sincronizações e o pacote de resposta.

Após a primeira sincronização o dispositivo inicia um tempo aleatório (*random back-off time*), durante o qual, o dispositivo pode ir para o modo STANDBY ou manipular outra conexão. Quando este tempo expirar, o dispositivo retorna para o modo INQUIRY SCAN. Somente após ocorrer uma nova sincronização a resposta é retornada. O Bluetooth aplica este modelo para evitar colisões de respostas, quando dois ou mais dispositivos transmitirem o pacote FHS após a segunda sincronização no mesmo segmento de tempo.

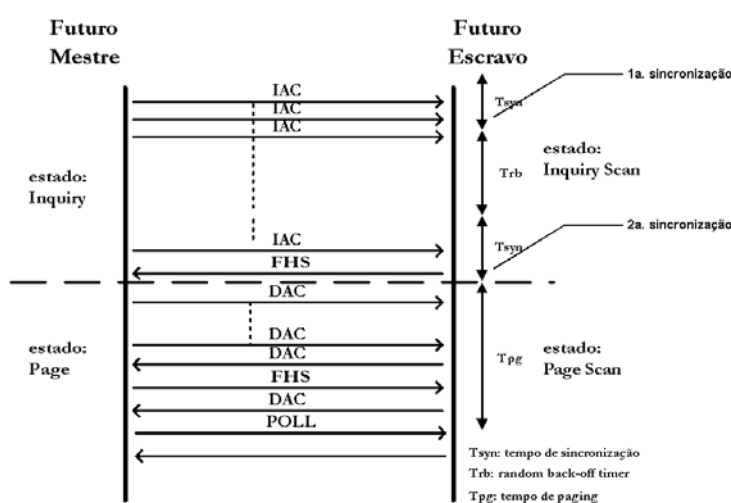


Figura 4-a: Sincronização de fase

Desconsiderando a probabilidade de interferências para simplificar o entendimento, as pré-condições para que a segunda sincronização ocorra com sucesso são: não deve ocorrer seleção da frequência de Inquiry Scan pertencente à seqüência complementar, e não deve ocorrer seleção da seqüência de inquiry complementar durante o período de espera do *random back-off time*.

Caso ocorra a seleção de frequência na seqüência complementar, também deve ocorrer seleção de seqüência de inquiry complementar antes de o *random back-off time* expirar.

A fase do escravo é alterada a cada 1,28s. Os bits de 16 a 12 do relógio (CLKN₁₆₋₁₂) do dispositivo determinam a fase. Cada fase é mapeada em uma frequência distinta. A determinação da frequência depende dos parâmetros de entrada, os quais variam dependendo da operação a ser executada. Informações mais detalhadas podem ser obtidas na seção 2.4.1. Quando a nova fase selecionada não pertence à seqüência de inquiry utilizada pelo dispositivo em INQUIRY a sincronização também é prejudicada (ilustrado pelo escravo3 da Figura 4-b). Este problema pode ocorrer tanto na primeira sincronização quanto na segunda.

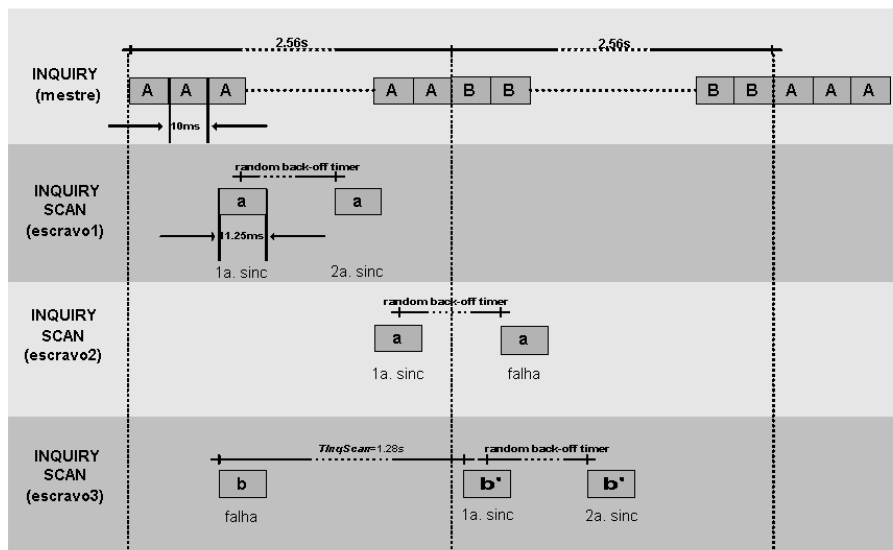


Figura 4-b: Problemas de sincronização de fases

a: frequência pertencente à seqüência A

b,b': frequências pertencentes à seqüência B. b e b' estão deslocadas de uma fase.

No Page esses problemas não são significativos, pois se a estimativa do relógio obtida durante o Inquiry estiver consistente, o problema de indefinição em relação à seqüência a ser utilizada é eliminado. Quando a estimativa estiver ausente, o mesmo problema descrito para o Inquiry ocorre. Para esses casos, as propostas para eliminar o problema no Inquiry descritas nas seções seguintes também podem ser aplicadas para o Page.

4.2.2 Modelo de conexão proposto

Outro modo para minimizar o impacto da seleção de fase na seqüência complementar é alterar a lógica atual de Inquiry Scan. Quando não ocorrer sincronização na primeira janela, que utiliza a fase $F(k)$; uma nova janela consecutiva de Inquiry Scan utilizando uma fase equivalente na seqüência complementar, $F(k+16)$, deve ser utilizada.

Na Figura 9, os escravos 2 e 3 empregam esta proposta. A fase equivalente na seqüência complementar é obtida deslocando-se 16 posições à fase corrente (Figura 4-d).

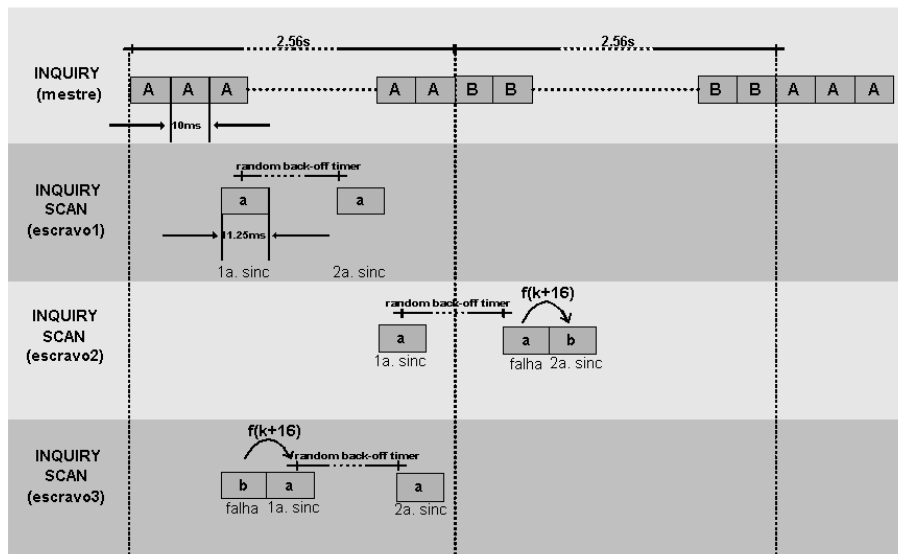


Figura 4-c: Freqüências complementares consecutivas

Esta proposta soluciona o problema de seleção de fase não pertencente à seqüência corrente utilizada tanto para primeira sincronização, quanto para segunda.

Quando ocorre falha, duas janelas consecutivas de 11,25 ms são utilizadas. O acréscimo de uma janela aumenta proporcionalmente o consumo de energia, por outro lado, elimina o elevado custo de sincronização quando a fase de Inquiry Scan não pertence à seqüência utilizada.

Comparando com o modelo de conexão atual, há na realidade uma redução no consumo de energia, pois não há garantias que a próxima fase selecionada $f(k+1)$ irá pertencer a seqüência de inquiry corrente (lembre-se que a seqüência de inquiry é alternada a cada 2,56s). No melhor caso, haverá um consumo proporcional, entretanto com uma latência de conexão maior.

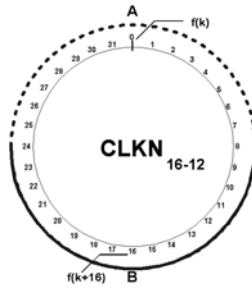


Figura 4-d: Fases equivalentes

A implementação desta proposta não possui elevada complexidade, para calcular a fase completar basta executar um “ou exclusivo” com bit 16 do relógio:

$$f(k+16)=(CKLN_{16-12}>>12)\text{XOR } 0x10$$

Esta proposta foi avaliada através de simulações. Obviamente, outros parâmetros do modelo de conexão foram afetados e tiveram que ser adaptados a essa nova lógica. A metodologia de simulação e os resultados estão descritos no Capítulo 5. Os resultados obtidos demonstram que o modelo proposto reduz o tempo de conexão significativamente para as situações nas quais ocorrem problemas de sincronização como descrito na seção 4.2.1 e mantém o tempo de conexão para o melhor caso.

4.2.3 Page Scan Opcional II

O mesmo conceito de frequência complementar pode ser aplicado para eliminar o problema de indeterminação de seqüência de Page quando a estimativa do relógio do BtAP estiver inconsistente/inexistente. Denominamos esta abordagem de Page Scan Opcional II. Nas simulações realizadas não avaliamos esta proposta aplicada ao Page Scan, pois os resultados são semelhantes aos obtidos no Inquiry Scan.

Este modo de Page Scan é extremamente importante para a arquitetura que estamos propondo. Durante o *handoff*, somente o Page é necessário, pois o dispositivo móvel(mestre) conhece os endereços dos pontos de acesso próximos, entretanto, não possui estimativa consistente do relógio do escravo, o que torna este modo útil para eliminar a dependência de seqüência de Page.

4.2.4 Pesquisas relacionadas

Outro modo de eliminar os problemas de sincronização é alternar a transmissão das seqüências de frequências, como proposto por Siegmund e Rohs [Siegmund02]. Alternando seqüências, o custo quando a fase na qual o escravo está sintonizado não pertence à seqüência corrente que o mestre está utilizando é eliminada. No modelo atual, quando esse fato ocorre, a sincronização ocorrerá somente com a inversão de seqüências, ou seja, no pior caso após 2,56s (256 repetições da seqüência corrente).

A Figura 4-e ilustra a estrutura de seqüências proposta. Sem a subdivisão em seqüências, o período é de 32 fases ao invés de 16. As vantagens e desvantagens desta abordagem serão discutidas no decorrer desta seção.

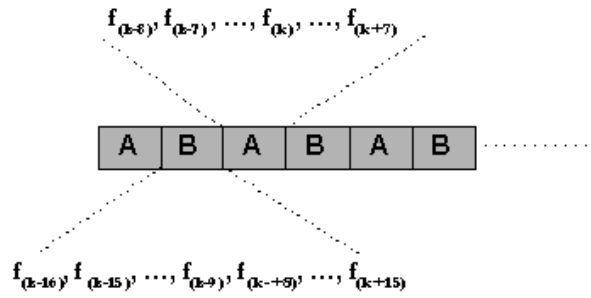


Figura 4-e: Sequência de inquiry alternada

Com a mudança da lógica seqüencial de transmissão, os parâmetros devem ser redefinidos para não incorrer em configurações tendenciosas ou ineficientes. Quando as seqüências são transmitidas alternadamente, o $TwInqScan$ deve ser maior que o tempo para a transmissão nas duas seqüências(32 segmentos) para não ocorrer sincronização de janelas.

Esta proposta define um fator de sobreposição de 2 segmentos para solucionar o problema de sincronização nas extremidades da janela. Este mesmo fator de sobreposição é aplicado na especificação padrão. A dessincronização temporal pode acarretar falha de recepção de pacotes no primeiro segmento da janela de Inquiry Scan. Para reduzir esse problema, são inseridos um segmento de recepção redundante, referente à primeira fase da seqüência transmitida, e um segmento para a transmissão da resposta.

Na Figura 4-f, o Escravo 1 ilustra a configuração proposta, com o $TwInqScan$ é igual a 34 segmentos. Se o $TwInqScan$ for mantido ou for menor que a soma das duas seqüências, ilustrado pelo Escravo 2, quando a frequência selecionada pelo Escravo 2 não pertence a uma das frequências onde há sobreposição dos processos, o inquiry pode se tornar ineficiente. Intervalos de repetição múltiplos de 32 podem causar sincronização de janelas, incorrendo em elevada latência para a sincronização de fases entre transmissor e receptor.

Outro fator para reforçar o $TwInqScan$ maior que a soma das duas seqüências é o elevado intervalo de repetição da janela, o $TwInqScan$ padrão é de 2,56s, o que pode tornar a sincronização extremamente demorada. Quando ocorre falha na recepção de IAC em uma $TwInqScan$, a repetição desta janela ocorrerá somente após 2,56s (se o Inquiry Scan estiver habilitado).

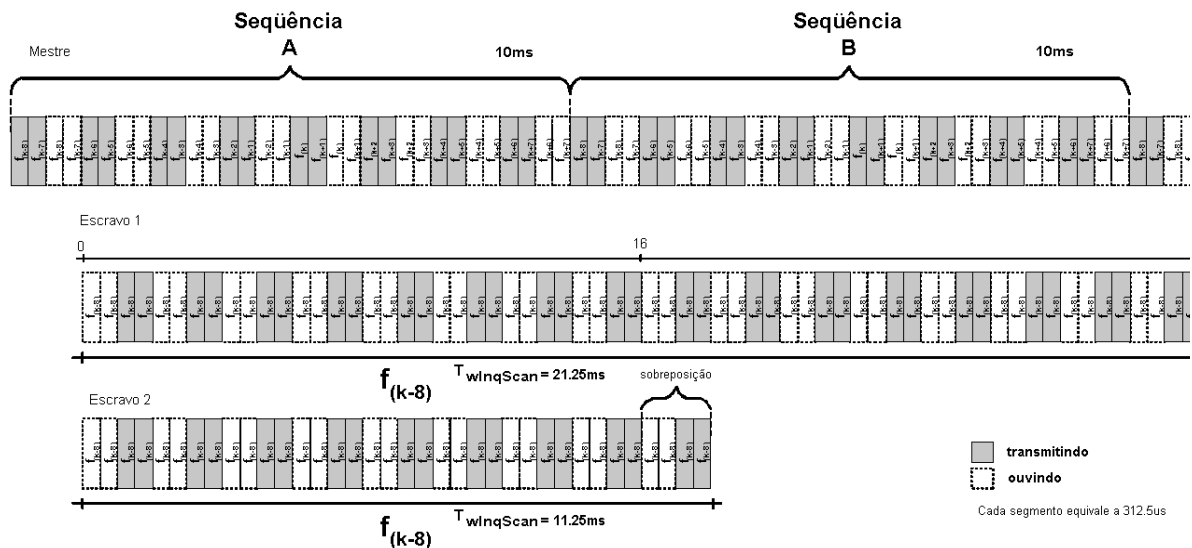


Figura 4-f: $T_{wInqScan}$ para transmissão seqüências de inquiry alternada

Com a transmissão alternada elimina-se a dependência de seqüência de Inquiry. Alterando o modelo de transmissão de freqüências, obtém-se uma redução do tempo despendido para a sincronização.

Esta proposta soluciona o problema da seleção de freqüência não pertencente à seqüência corrente. Entretanto, um aspecto negativo é a grande mudança necessária na especificação, e a incompatibilidade com os outros dispositivos que seguem a especificação padrão. Ambos, mestre e escravos precisam modificar o modelo de conexão. A especificação define como tamanho da janela de Inquiry Scan ideal 11,25ms, este tamanho pode gerar dificuldades de sincronização quando os valores múltiplos são utilizados entre mestre e escravos.

4.3 Arquitetura

Esta seção apresenta os requisitos para permitir dispositivos IP Bluetooth deslocar-se transparentemente dentro de um domínio local com reduzida sinalização na camada de rede. A macro-mobilidade é gerenciada através do IP Móvel, a micro-mobilidade na camada IP é fundamentada no Hierarchical Mobile IP v6 (HMIPv6) [Soliman01], e o gerenciamento no enlace é feito através comandos LMP específicos. O IETF não considera as características do enlace, por isso definimos os requisitos necessários para a integração de acordo com as características do modelo de conexão Bluetooth.

O foco desta seção é definir os requisitos do enlace da arquitetura, métodos de melhoria do processo de conexão, e sinalização de *handoff* no enlace. O Bluetooth não foi projetado para permitir *handoff* rápido e transparente como os sistemas de telefonia celular. A metodologia de *handoff* difere de acordo com as características da tecnologia. No sistema de telefonia, o gerenciamento é unificado, somente a rede da operadora está envolvida neste processo. Em redes IPs, considerando a rede pública ou redes locais privadas, a mobilidade é um problema que afeta o enlace e a camada de rede.

A Figura 4-g ilustra as principais entidades da arquitetura, e apresenta o contexto no qual está inserida. A *home network* representa a rede de origem do dispositivo, rede na qual está registrado. A *foreign network* representa a rede que o dispositivo móvel está visitando.

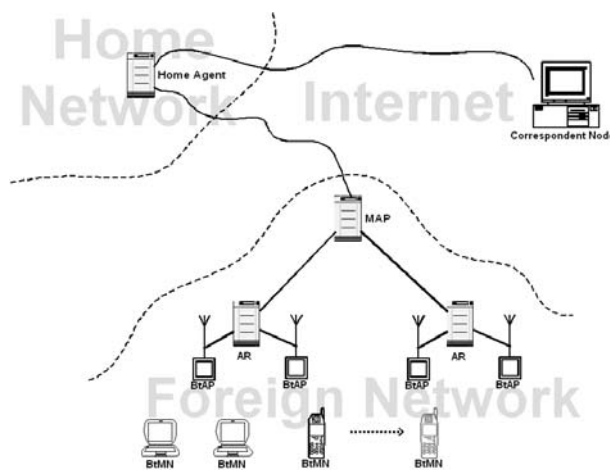


Figura 4-g: Arquitetura proposta

O gerenciamento da micro-mobilidade é manipulado transparentemente, independentemente da localização do dispositivo (*foreign ou home network*). A micro-mobilidade é

gerenciada pelo HMIPv6 e pelo protocolo do enlace. O IP Móvel atua somente quando o *roaming* entre redes é realizado.

A seção 4.3.1 apresenta uma descrição detalhada sobre as entidades que compõem a arquitetura. As melhorias propostas na seção 4.2 restringem-se ao enlace, a funcionalidade das entidades do MIPv6 e HMIPv6 foram mantidas.

Optamos pelo HMIPv6 por ser a proposta mais robusta e de melhor suporte. Inserir protocolos específicos para gerenciar a micro-mobilidade restringe a modularidade e flexibilidade da arquitetura.

Para serem aprovados pela IETF, os protocolos devem suportar tunelamento e as mensagens do IP Móvel. O Cellular IP proposto por Campbell et alli [Campbell00] é inadequado por substituir o roteamento padrão dentro da sub-rede e criar rotas específicas. A ausência de hierarquia restringe o tamanho da rede e insere muitas entradas na tabela de roteamento. O HAWAII proposto por Ramjee et alli [Ramjee99] restringe-se ao MIPv4, o que incorre em quantidade limitada de endereços e roteamento sem otimização.

4.3.1 Entidades

As entidades Access Router e Mobility Anchor Point estão descritas no HMIPv6. As outras entidades são especializações, adaptadas às necessidades e características do Bluetooth. As entidades que possuem interface sem-fio Bluetooth (BtMN e BtAP) devem suportar:

- comandos LMP (seção 4.3.7);
- otimizações do modelo de conexão (seções 4.2.2 e 4.2.3) para permitir conexões com tempo reduzido.

As entidades são elementos lógicos da arquitetura. Um mesmo *host* pode desempenhar mais que um papel. Fisicamente um mesmo *host* pode ser BtAP, AR e MAP. As entidades da arquitetura estão descritas a seguir:

As principais contribuições apresentadas nesta seção são:

- diagramas de estados das entidades;
- configuração baseband;
- definição do modo de funcionamento.

Access Router

Roteador IP situado na rede de acesso e conectado a um ou mais BtAP. Os requisitos estão descritos no *draft* publicado por Soliman et alli [Soliman01].

Bluetooth Mobile Node (BtMN)

O BtMN são as entidades móveis da arquitetura, dispositivos com interface Bluetooth que implementam comandos LMP adicionais (seção 4.3.7) e o novo modelo de conexão proposto (seção 4.2.2).

Quando o BtMN aproxima-se de uma rede, deve conectar-se a rede executando os processos de Inquiry e Page. Na primeira conexão o dispositivo deve se registrar a rede, executando o procedimento de registro descrito no HMIPv6, o MAP e o *home agent* devem ser atualizados.

Além do endereço IP home, cada dispositivo móvel deve possuir dois endereços IPs, como descrito na especificação do HMIPv6. O endereço local (LCoA), atribuído na rede local ou na rede visitada, é utilizado para gerenciar os deslocamentos locais constantes. O endereço global (RCoA), é o endereço utilizado pelos CNs e HA para endereçar o BtMN. Esse endereço é o endereço de uma das interfaces do MAP, um *foreign agent care-of-address*. Na rede local, o RCoA é desnecessário, pois o MAP é o próprio HA.

O BtAP é responsável por sinalizar a necessidade de *handoff* e informar quais são pontos de acesso vizinhos. O *handoff* é sinalizado pelo BtAP, mas o BtMN possui autonomia para gerenciar o procedimento de estabelecimento de uma nova conexão (executar o Page).

As informações sobre os pontos de acesso próximos e com suas respectivas características devem ser atualizadas após o estabelecimento da conexão para evitar inconsistências quando o *handoff* for necessário. A atualização é feita utilizando-se os comandos LMP definidos na seção 4.3.7.

Manter informações sobre os pontos de acesso próximos elimina a necessidade do procedimento de Inquiry quando o *handoff* é necessário. Assim, o custo do *handoff* limita-se ao procedimento de Page. Na arquitetura definida, o Inquiry é necessário somente na primeira conexão, quando o dispositivo registra-se a rede visitada ou quando há falhas.

Eliminar o Inquiry quando há necessidade de *handoff* também representa redução de interferência. O Inquiry utiliza um canal comum, assim quando inúmeros BtMN entram em INQUIRY há uma probabilidade maior de interferência entre dispositivos próximos.

A Figura 4-h ilustra os possíveis estados durante o *handoff*. Bluetooth utiliza TDM, portanto poderá permanecer ativo somente em uma *piconet* em um determinado momento. Quando o *handoff* é sinalizado, o BtMN deve negociar com BtAP corrente o tempo que permanecerá em *hold*, ou seja, inativo na *piconet* corrente. Durante este intervalo o BtMN

entrará em Page, selecionado o BtAP de melhor classificação. Caso o Page falhe o próximo elemento da lista é selecionado e o Page é repetido.

Quando a conexão é estabelecida a avaliação da força do sinal oferecida pelo novo BtAP é realizada. A confirmação de sucesso da operação do Page é retornada somente quando o BtMN encontrar um BtAP que forneça uma qualidade do sinal superior ao oferecido pelo BtAP corrente.

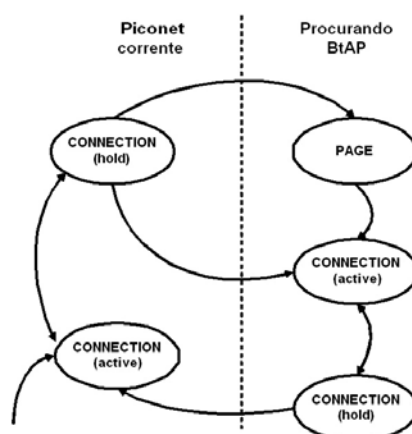


Figura 4-h: Máquina de estados do BtMN durante o handoff

Após completar o procedimento de estabelecimento da nova conexão o dispositivo retorna a piconet inicial para informar as novas configurações. Quando a força do sinal alcança o nível mínimo para um conexão estável ($handoff_threshold$ - descritos na seção 4.3.3), a conexão atual pode ser inativada temporariamente (hold) ou encerrada, e o dispositivo passa a ser um membro ativo na piconet estabelecida previamente.

Os parâmetros Baseband que devem ser utilizados pelos BtMN estão descritos na Tabela 4-b. A heurística utilizada para classificar o BtAP está descrita na seção 4.4.2.

Parâmetro	Valor
Ninquiry	256
Npage	128

Tabela 4-b: Configuração baseband do BtMN

Para simplificar a implementação, os BtMNs executam o Inquiry ou Page continuamente. Durante o *handoff*, a quantidade de vezes que as seqüências são transmitidas segue os valores definidos na especificação. Chavear periodicamente entre piconets requer a negociação do período de hold, o que incorre em excessiva sinalização e requerer um rígido escalonamento de atividades.

Bluetooth Access Point (BtAP)

O BtAP é um *host* que representa uma estação base que serve a uma *piconet*, e a conecta a Internet ou a uma intranet. O BtAP possui uma interface Bluetooth e uma interface conectada

a rede de acesso. A disposição é feita de acordo com a topologia do ambiente e com política de qualidade de serviço definida, não é escopo deste trabalho definir as regras de topologia. O gerenciamento de localização dos BtAPs é centralizado no MAP. Quando o BtMN efetua uma nova conexão, os BtAPs próximos são informados Ao BtMN através do MAP.

A função do BtAP é conectar os dispositivos da *piconet* a Internet, e auxiliar o procedimento de *handoff*: sinalizar quando uma nova conexão deve ser estabelecida e informar os BtAPs próximos.

Os BtAPs devem entrar periodicamente em INQUIRY SCAN para permitir o registro de BtMN desconhecidos que se aproximaram da rede, e periodicamente entrar em PAGE SCAN para permitir criar novas conexões.

Os BtMNs conectados a rede conhecem os endereços dos BtAPs próximos, o que torna o INQUIRY desnecessário. Portanto, para o estabelecimento de uma nova conexão, somente o PAGE é suficiente, exceto nos casos onde o PAGE falha.

A Figura 4-i ilustra a máquina de estados do BtAP, como Bluetooth utiliza TDM o dispositivo pode estar ativo somente em uma *piconet*. Quando o BtAP entra em INQUIRY SCAN ou PAGE SCAN a partir do estado STANDBY não há conexões ativas, sendo desnecessário compartilhar o tempo entre gerenciar conexões ativas e procurar por BtMNs.

Quando há conexão ativa(Figura 4-i), a mesma deve ser configurada para um modo ocioso. O tempo que o BtAP ficará indisponível é negociado com os BtMNs através do comando LMP_hold.

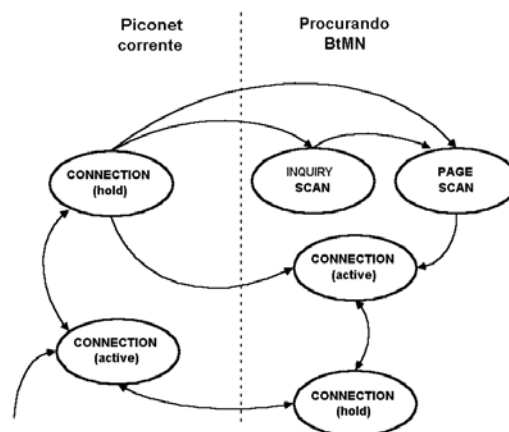


Figura 4-i: Máquina de estados do BtAP

Para permitir o controle do *handoff* e controle de potência transmissão, um módulo RSSI é requerido. A definição dos *thresholds* do módulo RSSI encontra-se seção 4.3.3.

Como o *handoff* possui alta prioridade, o BtAP deve permanecer em PAGE SCAN mais regularmente que em INQUIRY SCAN, isto é feito reduzindo o intervalo de repetição do

Page Scan ($T_{pageScan}$). No estado INQUIRY SCAN o BtAP pode ser configurado nos modos descritos na Tabela 4-c.

O BtAP deve entrar em INQUIRY SCAN e o PAGE SCAN periodicamente, portanto deverá atuar como escravo para o estabelecimento de novas conexões. A frequência de execução é um parâmetro variável da rede, sendo inversamente proporcional ao número de dispositivos conectados. Quanto maior o número de BtMNs conectados menor deve ser o tempo despendido para executar outras tarefas, e menor deve ser a probabilidade de fornecer serviços.

O Inquiry Scan e o Page Scan devem priorizar os pontos de acesso com menor carga. Estes deverão entrar com maior regularidade em Page Scan para possibilitar a conexão de BtMNs que desejam realizar *handoff*. De acordo com a especificação Baseband, esses parâmetros podem variar de 18 a 4096 segmentos. Tendo em mente estes fatores explanados anteriormente, a Tabela 4-c apresenta os valores dos intervalos $T_{inqScan}$ e $T_{pageScan}$ que propomos de acordo com o número de escravos.

Assumimos que o valor máximo de para o $T_{inqScan}$ é 4096 segmentos, ou seja, 2,56s. Variamos o valor de $T_{inqScan}$ de acordo com o número de escravos conectados de acordo com a equação a seguir:

$$T_{inqScan}_n = 4096 \times \left(\frac{n+1}{7} \right), \text{ onde } n \text{ representa o número de escravos.}$$

Para o $T_{pageScan}$, assumimos valor máximo de 2048 segmentos, equivalente a 1,28s. Semelhantemente ao $T_{inqScan}$, calculamos o valor de $T_{pageScan}$ de acordo com o número de escravos conectados:

$$T_{pageScan}_n = 2048 \times \left(\frac{n+1}{7} \right), \text{ onde } n \text{ representa o número de escravos.}$$

A tabela a seguir recomenda os modos de operação segundo os valores do $T_{inqScan}$ e $T_{pageScan}$, calculados segundo o número de dispositivos. Quando necessário, o modo pode não seguir a regra estabelecida (calculado em função do número de escravos), deste modo pode ser utilizado com um meio de reduzir/aumentar a probabilidade de conexão.

Modo	$T_{inqScan}$ (segmentos)	$T_{pageScan}$ (segmentos)
000	585	293
001	1170	585
010	1755	878
011	2340	1170
100	2926	1463
101	3511	1755
110	4096	2048
111	-	-

Tabela 4-c: Configuração baseband do BtAP

Os modos de PAGE SCAN que devem ser suportados são os modos padrões mandatórios e o Page Scan Opcional II(seção 4.2.3) utilizado para contornar os problemas seleção de seqüências de Page que não contém a freqüência de page scan utilizada.

Page scan mode	TpageScan
R0	Contínuo
R1	≤ 1,28s
R2	≤ 2,56s
Opcional II	≤ 1,28s

Tabela 4-d: Configuração dos BtAPs – page scan mode

Mobility Anchor Point (MAP)

Roteador localizado na rede visitada pelo BtMN. O MAP atua como um Home Agent local para os BtMNs a ele registrados. O objetivo da utilização desta entidade é gerenciar localmente deslocamentos dentro do domínio para reduzir a sinalização fora do domínio.

Em deslocamentos locais, o BtMN deve atualizar somente o MAP, informando o novo LCoA. Os CNs e HA não precisam ser atualizados, pois não há alteração no *Regional Care-of-Address* (RCoA). Isto torna a comunicação transparente aos CNs. Em deslocamentos entre domínios distintos, a atualização segue o definido pelo IP Móvel padrão, sendo necessário a atualização do HA, e dos CNs.

Além das funções de gerenciamento da camada de rede, o MAP deve ser responsável por assistir ao procedimento de *handoff*: manter uma tabela classificação dos pontos de acesso, contendo informações sobre a disponibilidade dos BtAPs e modo de operação. Os BtAPs são entidades fixas, isso torna possível agrupar os BtAPs por proximidade, compondo *clusters* dinâmicos para minimizar o *multi-cast*. Devido à complexidade do assunto, não avaliamos nenhum algoritmo nesta linha de pesquisa. Neste primeiro momento consideramos o redirecionamento do tráfego IP para somente um ponto de acesso.

Após o estabelecimento da conexão, os BtAPs próximos são informados ao BtMN através do comando LMP_BtAP(seção 4.3.7). Devido à dinamicidade da rede, essas informações devem ser periodicamente atualizadas.

A Tabela 4-e é um exemplo das informações mínimas que são mantidas pelo MAP para controlar os pontos de acesso do domínio. Alguns destes valores são repassados para os BtMNs e serão utilizados como parâmetros para o algoritmo de seleção de BtAPs.

BD_ADDR (48 bits)	IPv6 Addresses (128bits)	IPv6 MASK	ARs Corrente	Page Scan mode	Location	Slave numbers	Carga
0xED543C	IPv6_addr1	...	IPv6 addr	Opcional II	(x1,y1)	1	14%
0x0F234A	IPv6_addr2, IPv6_addr3	...	...	R0	(x2,y2)	5	85%
0xB789A1	...	...	...	...	(x3,y3)	7	71%
0xBCDEF1	...	...	...	...	...	2	43%
				...			

Tabela 4-e: Tabela de BtAPs

A Tabela 4-f representa a tabela dos BtMNs com seus respectivos BtAPs. As informações contidas são: BD_ADDR, endereço IPv6 local, e o BtAP ao qual está conectado.

BD_ADDR	IPv6 LCoA	BtAP IPv6
0xABC123	IPv6_addr10	IPv6_addr
...
0xDEF995	IPv6_addr11	...

Tabela 4-f: Tabela de BtMNs

4.3.2 Configuração da Rede

Em relação à configuração Baseband Bluetooth, de acordo com o PAN profile[PAN01] a regra que os dispositivos devem respeitar depende do modo de operação da rede:

- *Single-user* – um único BtMN pode se conectar.
- *Multi-user* – múltiplos BtMN podem se conectar. O limite é de 7 BtMN.

Operando no modo *single-user*, a rede fica limitada a um dispositivo por ponto de acesso. Nessa configuração a regra empregada pelos dispositivos não influenciará na vazão. Ao operar no modo *multi-user*, o BtAP deve ser o mestre da *piconet* para gerenciar eficientemente o acesso dos dispositivos conectados. Caso o BtAP fosse escravo, ocorreria degradação de desempenho devido ao excessivo chaveamento entre *piconets* e a falta de sincronização entre mestres. Esse problema é ilustrado pela Figura 4-j.

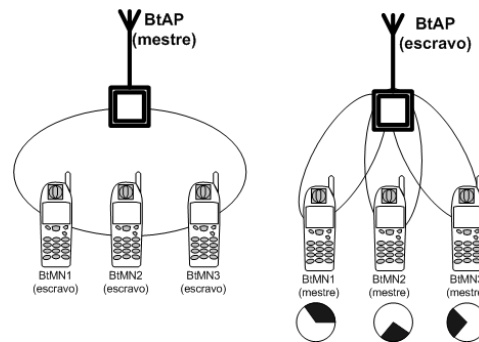


Figura 4-j: Comparação de BtAP atuando como mestre ou escravo

O BtAP deve compartilhar o tempo em gerenciar o acesso dos dispositivos conectados e procurar por dispositivos que desejam se conectar. Como Bluetooth utiliza multiplexação de tempo, o modo *hold* deve ser utilizado para informar aos BtMNs o tempo que o BtAP ficará sem serviço, executando a criação de uma nova conexão.

Considerandos esses fatos, duas configurações seriam possíveis:

- O BtAP atuar como mestre da nova conexão, executando o Inquiry e/ou o Page;
- O BtAP atuar como escravo, executando o Inquiry Scan e/ou o Page Scan seguido da inversão de regras: master/slave switch.

Na referência [Baat00], os autores discutem esse problema de configuração. Para nossa arquitetura, a desvantagem de se utilizar a primeira opção é a degradação da qualidade de serviço oferecida aos dispositivos conectados ao ponto de acesso, e a impossibilidade de classificação de pontos de acesso, visto que as informações (pacote FHS) sobre a configuração do dispositivo são transmitidas somente no sentido escravo→mestre. Por outro lado, utilizar a segunda opção requer a inversão de regra.

O Inquiry/Page executado pelos BtMNs permite maior flexibilidade e um escalonamento mais eficiente. No modo de operação normal o BtMNs é escravo. Logo, não é responsável pelo controle dos outros dispositivos da *piconet* e independente para configurar os parâmetros de Inquiry/Page de acordo com as restrições da aplicação e da *piconet* corrente.

Adotamos a segunda opção por ser uma solução flexível e que permite o gerenciamento de novas conexões sem degradar a qualidade de serviço de conexões pré-existentes. A ilustração a seguir ilustra essa opção e o fluxo de mensagens trocadas para a execução da inversão de regras.

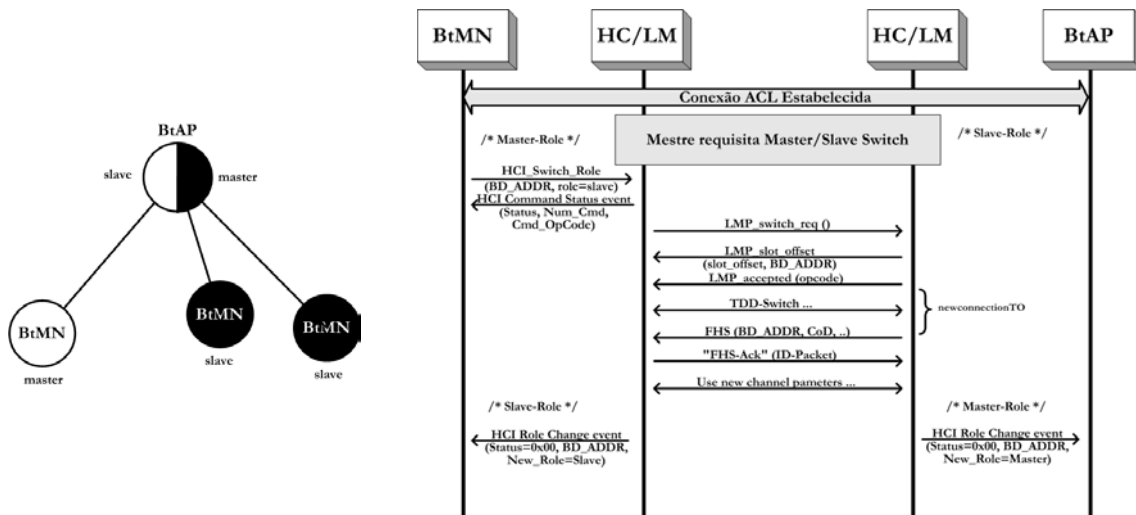


Figura 4-k: Master-Slave-Switch

Como os parâmetros da *piconet* são derivados do relógio e endereço do mestre, a operação *Master/Slave switch* envolve a redefinição da *piconet*. Esse processo pode despende um tempo significativo, mas é custo pago para se gerenciar eficientemente a seleção do BtAP.

Segundo Cathal Mc Daid [McDaid00], o tempo gasto para inverter a regra despende no melhor caso 4.375 ms, que corresponde ao tempo de transmissão dos 7 comandos LMP

utilizados na inversão de regra. Quando os dispositivos iniciam o TDD-switch, um *timer newconnectionTO* será iniciado. No BtMN este *timer* será desabilitado assim que o pacote FHS for recebido. No BtAP, quando um pacote de confirmação (ID) for recebido.

A especificação define o *newconnectionTO* com 32 *segmentos*, que equivale a 20ms. Quando ocorre falha durante a mudança de regra, os dispositivos retornam a executar a regra anterior.

4.3.3 Disparo do handoff

O módulo RSSI é opcional, nem todas as classes de dispositivos possuem devido ao elevado custo. Este módulo é empregado para efetuar o gerenciamento da força do sinal. Dispositivos habilitados conseguem incrementar/decrementar a potência de transmissão do sinal utilizando os comandos LMP definidos na especificação: LMP_incr_power_req e LMP_decr_power_req. Aumentar desordenadamente a potência de transmissão não é recomendado devido ao aumento do consumo de energia e a interferência gerada. Para contornar esses problemas, o *handoff* é necessário para se conectar a um ponto de acesso mais próximo ou que forneça melhor serviço.

Propomos a utilização do módulo RSSI para auxiliar no procedimento de *handoff*. Em ambientes pico-celulares um controle de *handoff* gerenciado pelo dispositivo móvel (MCHO – mobile controlled handoff) permite maior eficiência na seleção dos pontos de acesso. No entanto, insere um alto custo aos dispositivos. Por isso, adotamos uma metodologia descentralizada na qual BtAP sinaliza a necessidade do *handoff*, e o dispositivo móvel seleciona o ponto de acesso mais adequado. O BtAP informa ao BtMN quando o processo deve iniciar, mas a tomada de decisão é realizada pelo BtMN.

Somente a força do sinal não representa adequadamente a qualidade do sinal, interferências podem degradar a qualidade do sinal, uma solução robusta deve considerar conjuntamente outras métricas: BER, velocidade, estatísticas, etc.

No PAN Profile, a utilização de métricas para controlar a potência do sinal não está definida. O contexto abordado restringe-se a *piconets* onde não há deslocamento dos dispositivos, ou onde o deslocamento é mínimo limitando-se ao alcance do mestre.

O foco deste trabalho é aprimorar o modelo de conexão e definir as primitivas de sinalização. Para simplificar nossas implementações utilizamos somente a força do sinal como parâmetro para disparar o procedimento de *handoff*. Futuros trabalhos poderão explorar métricas mais expressivas para evitar *handoffs* excessivos ou desnecessários, e algoritmos de previsão de mobilidade.

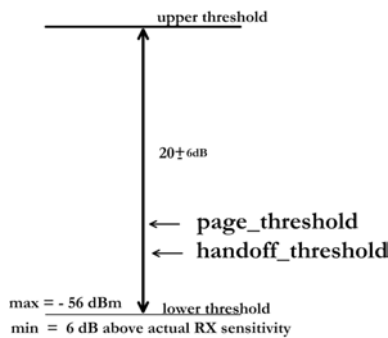


Figura 4-l: Módulo RSSI

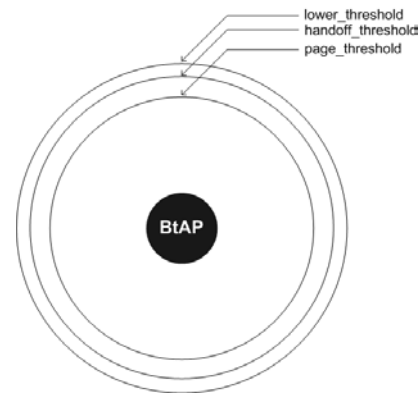


Figura 4-m: Correlação espacial

A conexão é estabelecida em duas etapas: Inquiry e Page. Caso o BtMN já esteja conectado a rede, ele já possui informações sobre quais são os BtAP próximos. Neste caso, somente o page é necessário. O processo inquiry é necessário somente no primeiro registro.

Os valores dos *thresholds*, considerando o tempo de execução do *handoff* e a velocidade máxima de deslocamento, devem ser adequados para que *handoff* seja executado antes que a força do sinal atinja o *lower threshold*. Os dois *thresholds* definidos são:

- ❑ *page_threshold* – indica a necessidade de handoff.
- ❑ *handoff_threshold* – indica que o handoff deve ser executado imediatamente.

Quando o *page_threshold* é alcançado, o BtAP sinaliza ao BtMN a necessidade de *handoff* através do comando LMP_HO_Page. O tempo decorrido antes da força do sinal degradar até o *lower_threshold* deve ser suficiente para o BtMN estabelecer uma nova conexão. A seleção do BtAP é feita de acordo com a classificação definida na seção 4.4.2. Nesta fase a nova conexão é estabelecida, mas mantida ociosa.

Quando o *handoff_threshold* é alcançado, o BtAP ordena ao BtMN a execução imediata do *handoff* através o comando LMP_handoff_commit. O BtMN deve ativar a conexão previamente estabelecida e encerrar a conexão atual.

O *handoff_threshold* pode não ser alcançado. Neste caso, não haverá necessidade de uma nova conexão se a força do sinal oscilar entre o *handoff_threshold* e o *page_threshold*. Estes valores dependem muito da classe de dispositivo considerada, a Tabela 2-a lista as classes disponíveis. Em contextos internos de alta mobilidade, seria ideal que dispositivos de classe 1 fossem utilizados por possuir alcance de 100m. Utilizar dispositivos de classe 2, cujo alcance restringe-se a 10m podem gerar excessivos *handoffs*, podendo ser inviável seu emprego devido às excessivas sinalizações.

4.3.4 IP sobre Bluetooth

Como comentado na seção 2.6, a transmissão de datagramas IP ainda está sendo padronizada. A atual solução é descrita no Bluetooth PAN Profile[PAN01]. Este documento define os protocolos e procedimentos para permitir a comunicação IP no Bluetooth. O IP opera sobre o BNEP (Bluetooth Network Encapsulation Protocol)[BNEP01]. O BNEP abstrai características específicas do Bluetooth e emula um segmento *broadcast* de rede. Os pacotes IP são encapsulados em pacotes BNEP, que por sua vez são encapsulados em pacotes L2CAP(seção 2.3.4).

O IP é definido e mantido pelo IETF. Sendo descrito por um conjunto de documentos RFCs. Os RFCs IPv6 obrigatórios, listados no PAN Profile, são apresentados na a seguir.

RFC	Descrição
1981	Path MTU Discovery for IP version 6
2373	IP Version 6 Addressing Architecture
2374	An IPv6 Aggregatable Global Unicast Address Format
2460	Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification
2461	Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)
2462	IPv6 Stateless Address Autoconfiguration
2463	Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification
2464	Transmission of IPv6 Packets over Ethernet Networks
2526	Reserved IPv6 Subnet Anycast Addresses

Tabela 4-g: RFCs IPv6

Para suportar o IP Móvel v6 e as otimizações sugeridas , deve-se implementar os RFCs/DRAFTs listados na Tabela 4-h:

RFC/DRAFT	Descrição
INTERNET-DRAFT	Mobility Support in IPv6
INTERNET-DRAFT	Hierarchical MIPv6 mobility management
INTERNET-DRAFT	Fast Handovers for Mobile IPv6
2977	Mobile IP Authentication, Authorization, and Accounting Requirements

Tabela 4-h: RFCs/DRAFTs MIPv6

4.3.5 Endereçamento IP Funcional

A obtenção do LCoA na rede visitada é feita utilizando-se os mecanismos de endereçamento automático do IPv6 *stateless*. No *stateless* o endereço é composto combinando o endereço BD_ADDR (descrito na seção 2.3.1) da interface com o prefixo da sub-rede.

Sugerimos a utilização do *stateless* por possibilitar um endereçamento funcional. No draft IETF “Transmission of IP Packet over Bluetooth Networks” [Atwal01], o autor sugere que os 64 bits do endereço da interface seja composto pelo CoD (Class of Device), NAP (Non-Significant Address Part) e LAP (Lower Address Part). Estes campos somados compõem 64

bits da identificação da interface, os outros 64 bits não citados pertencem ao prefixo da rede, o que completa um endereço IPv6 (128 bits).

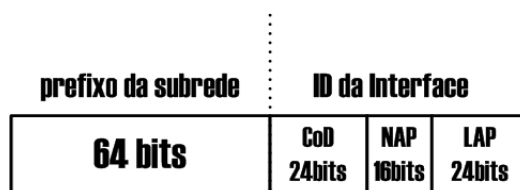


Figura 4-n: Endereçamento funcional

O endereçamento funcional é uma proposta que possibilita a utilização do endereço como primeiro nível de filtro de serviços e permite um endereçamento eficiente com reduzido custo de configuração.

4.3.6 Gerenciamento Pró-Ativo

O tempo de *handoff* pode ser definido como a diferença de tempo entre a recepção do último pacote IP através do ponto de acesso antigo, até a recepção do primeiro pacote através do novo ponto de acesso.

O esquema de *handoff* pode ser classificado em: reativo e pró-ativo. No esquema reativo, a camada de rede é atualizada somente quando a conexão corrente é perdida. No esquema pró-ativo, mecanismos de antecipação, *triggers*, antecipam a atualização da camada de rede antes que a conexão se perca.

O *handoff* consiste de duas fases: o estabelecimento de uma nova conexão e a atualização das entidades responsáveis pelo roteamento IP. Como no Bluetooth estabelecimento de uma nova conexão possui um custo elevado, empregar uma metodologia pró-ativa para antecipar a atualização da camada de rede ameniza o período de interrupção.

Um *trigger* L2 (layer 2) é uma abstração de uma notificação da camada de enlace utilizada para informar a camada de rede a ocorrência iminente de determinado evento. Os *triggers* objetivam reduzir a latência de *handoff* através da antecipação da atualização das entidades da camada de rede.

Neste trabalho os *triggers* são representados por mensagens LMP, definidas na seção 4.3.7, que são empregadas para minimizar a dependência entre camadas e permitir a antecipação de atualizações na camada de rede.

4.3.7 PDUs LMP adicionais

O LMP consiste essencialmente de PDUs (Protocol Data Unit) que são enviadas de um dispositivo para outro com o objetivo de transmitir informações de controle da conexão: configuração e segurança.

As mensagens LMP possuem maior prioridade sobre o tráfego L2CAP, por isso optamos por implementar novas PDUs LMP para o controle de *handoff*. Conceitualmente estas novas mensagens são *triggers* L2, pois informam o acontecimento de determinados eventos a camada de rede, ou antecipam eventos iminentes. Além de atuar como *triggers*, utilizamos novas mensagens LMP para atualizam informações sobre os BtAPs: número de escravos, modo de Inquiry Scan e modo Page Scan.

LMP PDU	Tamanho (bytes)	Opcodes*	Tipo do pacote	Direções possíveis	Conteúdo	Posição no payload
LMP_BtAP	11	58	DM1	BtMN←BtAP	BD_ADDR, Num_escravos, InqScan mode, PageScan mode	1-8 9 10 11
LMP_HO_Page	1	59	DM1	BtMN←BtAP	-	-
LMP_target_link	16	60	DM1	BtMN→BtAP	IPv6nCoA**	1-16
LMP_handoff_commit	8	61	DM1	BtMN←BtAP	-	-

Tabela 4-i: PDUs LMP adicionais

* O *opcodes* até o valor 57 estão sendo utilizados pela especificação.

** IPv6 new Care-of-Address – endereço CoA obtido no novo ponto de acesso

De acordo com a especificação, se uma conexão SCO está presente e o tamanho do conteúdo é menor que 9 bytes, as PDUs podem ser transmitidas utilizando-se pacotes HV1(seção 2.3.1). Caso contrário, quando existir conexões ACL, pacotes DM1 (máx 18 bytes de informações) devem ser utilizados. As mensagens LMP sempre são transmitidas em um único segmento, as mensagens ocupam no máximo um segmento de tempo (312.5µs). Neste trabalho somente dados assíncronos são transmitidos, portanto utilizamos pacotes DM1 para transmitir as PDUs definidas.

Os diagramas a seguir ilustram o diagrama de seqüências para as mensagens definidas. O primeiro diagrama ilustra a seqüência da mensagem LMP_BtAP. Essa mensagem é transmitida periodicamente para atualizar as informações sobre os BtAPs próximos.

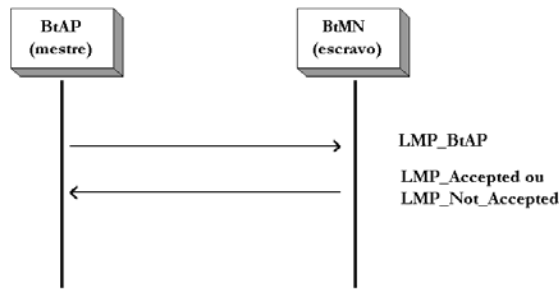


Figura 4-o: LMP_BtAP

A mensagem LMP_HO_Page sinaliza a necessidade de *handoff*. Quando o BtMN recebe essa mensagem, a conexão corrente deve ser desabilitada momentaneamente para o estabelecimento de uma nova conexão. Para negociar o tempo que a conexão corrente ficará ociosa, a mensagem LMP_hold é utilizada.

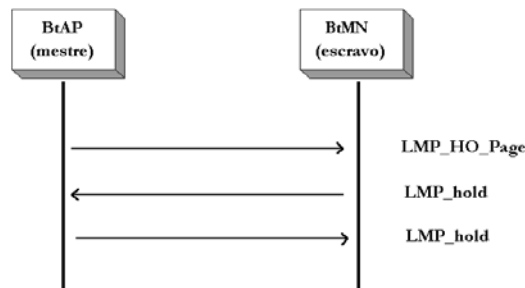


Figura 4-p: LMP_HO_Page

Quando o procedimento de Page finaliza, a mensagem LMP_target_link é transmitida para informar a nova conexão. Recebendo essa mensagem, o AR ao qual o BtAP está conectado irá verificar a consistência do endereço. Quando ocorre deslocamento entre ARs diferentes, é necessária a intervenção do MIPv6 para verificar a consistência do novo LCoA. De acordo com o resultado da verificação o LMP_Accepted ou LMP_Not_Accepted é retornado.

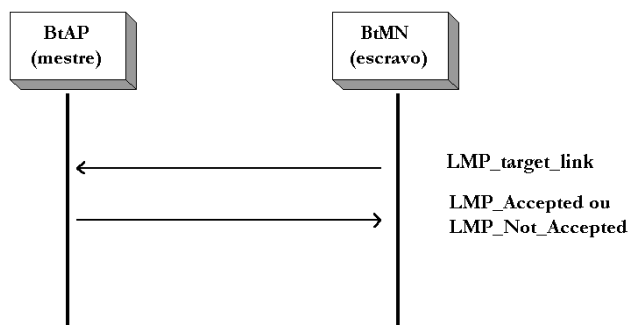


Figura 4-q: LMP_target_link

Quando a força do sinal atinge a *handoff_threshold* a mensagem LMP_handoff_commit é transmitida para sinalizar a execução imediata do *handoff*.

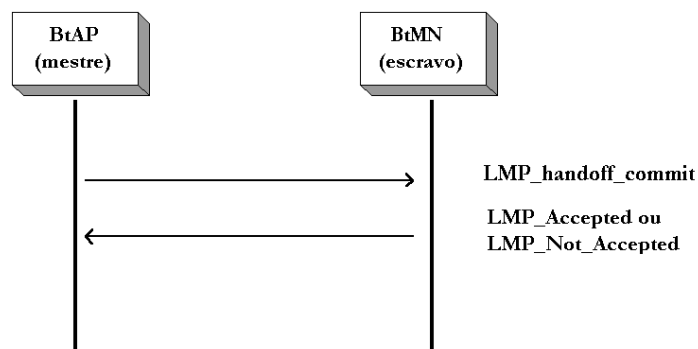


Figura 4-r: LMP_handoff_commit

As sinalizações definidas poderiam ser transmitidas utilizando datagramas ICMPv6. Entretanto, como a sinalização se restringe ao conhecimento do BtMN e BtAP, a utilização do LMP é mais adequada por ter prioridade sobre o tráfego L2CAP[BtSpec01].

4.3.8 HCI adicionais

O HCI(Host Controller Interface) fornece uma interface de comandos para a Baseband e o Link Manager. Devido às modificações inseridas no modelo de conexão, HCI adicionais (Tabela 4-j) foram definidos para permitir a configuração da Baseband de acordo com o tipo de Inquiry Scan e Page Scan desejados. As alterações inseridas não comprometem a compatibilidade com os dispositivos que seguem a especificação padrão.

Comando	Parâmetros	Retorno
HCI_Write_Page_Scan_Mode	page_scan_mode, TpageScan, TwPageScan	Status
HCI_Read_Page_Scan_Mode		Status, page_scan_mode, TpageScan, TwPageScan
*HCI_Write_Page_Mode	page_mode	Status
*HCI_Read_Page_Mode		Status, page_mode
HCI_Write_Inquiry_Scan_Mode	inquiry_scan_mode, TInqScan, TwInqScan, random_backoff_interval	Status
HCI_Read_Inquiry_Scan_Mode		Status, inquiry_scan_mode, TInqScan, TwInqScan, random_backoff_interval

Tabela 4-j: HCI adicionais

* comandos já definidos na especificação padrão. Estes comandos foram listados nesta tabela porque devem ser utilizados para configurar os esquemas de Page Scan e Inquiry Scan opcionais

O Esquema de Page Scan Opcional II foi definido na seção 4.2.3. A Tabela 4-k, apresenta os valores possíveis para o parâmetro page_scan_mode para a configuração segundo os modos definidos. Para a configuração baseband, o comando HCI_Write_Page_Scan_Mode

deve ser utilizado. A leitura do modo corrente é feita através do comando HCI_Read_Page_Scan_Mode.

page_scan_mode	
0x00	Page Scan Padrão (obrigatório)
0x01	Modo de Page Scan opcional I [BtSpec01]
0x02	Modo de Page Scan opcional II (seção 4.2.3)
0x03-0xFF	Reservados

Tabela 4-k: page_scan_mode

Para configurar o modo de Page, o dispositivo deve utilizar o comando HCI_Write_Page_Mode; para a leitura do modo corrente, o HCI_Read_Page_Mode. Ambos, escravo e mestre devem utilizar esquema de Page e Page Scan compatíveis para que uma conexão seja estabelecida com sucesso. A incompatibilidade entre esquemas ocorre devido às diferentes políticas de determinação do segmento de resposta e tamanho de janelas.

O esquema de Inquiry Scan com frequências complementares está definido na seção 4.2.2. O mestre utiliza o comando HCI_Inquiry_Mode para configurar os parâmetros e modo de Inquiry, o escravo por sua vez utiliza o HCI_Inquiry_Scan_Mode para configurar o modo de Inquiry Scan. Os valores em hexadecimal dos modos estão listados nas tabelas a seguir.

inquiry_scan_mode	
0x00	Inquiry Scan Padrão (obrigatório)
0x01	Frequências complementares (seção 4.2.2)
0x02-0xFF	Não definido

Tabela 4-l: inquiry_scan_mode

Uma vez configurados os parâmetros baseband, a ativação do Page Scan/Inquiry Scan é feita através do comando HCI_Write_Scan_Enabled, que permite configurar a baseband de modo a permitir que ambos os processos sejam ativos ou que somente um esteja ativo.

O tamanho da janela($T_{wInqScan}$ e $T_{wPageScan}$) segue o valor definido pela especificação: 11,25ms. Os intervalos($T_{InqScan}$ e $T_{pageScan}$) devem ser configurados dinamicamente de acordo com o status corrente, os valores recomendados estão definidos na Tabela 4-c.

4.4 Gerenciamento de Handoff

Ambientes pico-celulares internos possuem características específicas: alta mobilidade, restrito alcance e elevadas fontes de interferência. Nestes ambientes, métodos eficientes e com tempo de reação curto devem ser empregados. Assim sendo, a metodologia de controle *Mobile Controlled Handoff* (MCHO), seria a mais adequada. Neste tipo de metodologia o dispositivo móvel inicia e controla a decisão, sendo responsável por monitorar a força dos sinais das estações bases e avaliar quando o *handoff* é necessário.

No entanto, devido ao elevado custo de se implementar módulo RSSI, utilizamos uma abordagem distribuída: uma entidade da rede (o BtAP) sinaliza o *handoff* e informa os pontos de acesso próximos, e o BtMN realiza a decisão e controla o estabelecimento da nova conexão.

Diferentemente dos sistemas celulares, Bluetooth não possui canais específicos de sinalização. Para sinalizar o *handoff* definimos comandos LMP específicos, definidos na seção 4.3.7, que informam quando o *handoff* é necessário.

Conceitualmente o *handoff* é a transferência de uma conexão ativa de um ponto de conexão para outro, devido à degradação da qualidade do sinal em decorrência do deslocamento ou interferências. Em redes IP, o *handoff* pode ser dividido em duas fases: *handoff* L2(enlace) e *handoff* L3 (rede). No enlace, o *handoff* é a mudança de uma conexão do BtMN de um ponto de acesso para outro. Na camada de rede, o *handoff* atua na atualização das informações de roteamento para manter a alcançabilidade dos dispositivos.

O *handoff* no enlace caracteriza-se pela execução do Page, ou seja, estabelecimento de uma nova conexão ACL e chaveamento mestre-escravo. Quando o deslocamento ocorre entre BtAPs que estão conectados ao mesmo AR, somente informações de enlace necessitam ser atualizadas. Quando há mudança de AR, informações de roteamento IP devem ser atualizadas.

Um dispositivo Bluetooth não pode simultaneamente participar ativamente em mais de uma *piconet*. Quando há *scatternets*, o dispositivo compartilhado participa das *piconets* utilizando multiplexação de tempo.

Para se estabelecer uma nova conexão, o BtMN deve colocar a conexão ACL atual em modo *hold*. Neste modo, nenhum pacote originado do mestre é transmitido. Esse modo é tipicamente utilizado quando nenhum dado necessita ser transmitido durante um longo período de tempo. Este período de ociosidade pode ser utilizado para executar outras operações, como INQUIRY/INQUIRY SCAN e PAGE/PAGE SCAN; ou se sincronizar a

outra *piconet*. A atividade que o dispositivo irá executar durante este tempo não é controlada pela mensagem *hold*, os dispositivos são independentes.

4.4.1 Sinalização de Handoff

Parte dos comandos LMP definidos na seção 4.3.7 são utilizados para sinalizar o *handoff*. A figura abaixo descreve a seqüência de mensagens LMP trocadas, os processos iniciados durante o procedimento de *handoff* na camada de enlace e a relação com os *thresholds*(definidos na seção 4.3.3).

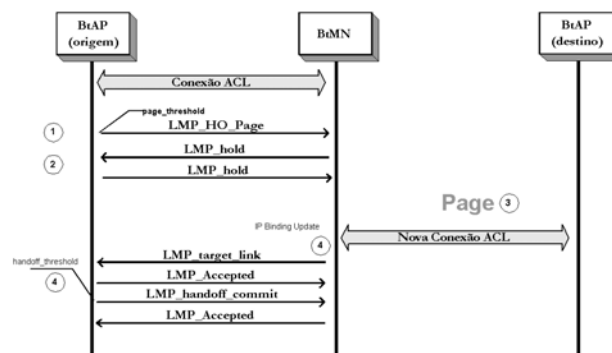


Figura 4-s: Fluxo de mensagens no enlace

Quando o *page_threshold* é alcançado(passo 1), o processo de estabelecimento de uma nova conexão é iniciado com o BtAP transmitindo um *LMP_HO_Page* ao BtMN. O passo 2 representa a negociação do tempo de *hold*, tempo em que a conexão ACL permanecerá desabilitada. O passo 3 representa o processo de page, o BtAP é selecionado de acordo com a classificação mantida pelo BtMN.

Quando o Page finaliza(passo 4), o BtAP é informado e avalia a necessidade de atualização da camada de rede(ARs são distintos). As mensagens de atualizações seguem o formato definido pelo HMIPv6[Soliman01].

Um AR possui um ou mais BtAP conectados. Quando o deslocamento ocorre para um BtAP conectado ao mesmo AR temos deslocamento **Intra Access Router**. Entretanto, quando os BtAPs estão conectados a ARs distintos temos um deslocamento **Inter Access Router**.

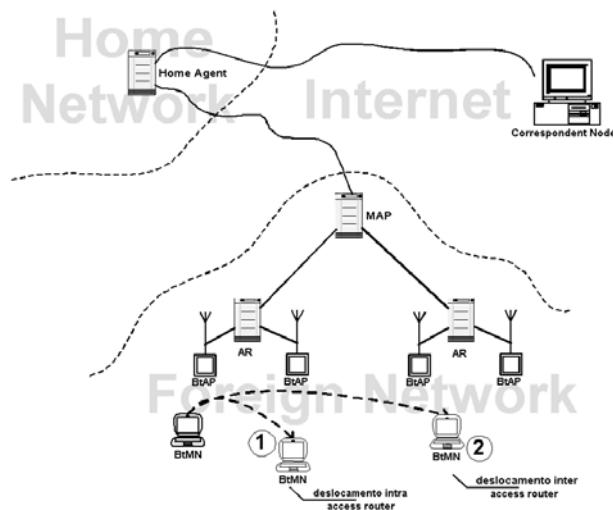


Figura 4-t: Deslocamentos Intra Access Router e Inter Access Router

Intra Access Router

Neste caso, somente o enlace está envolvido na transferência da conexão, informações de roteamento IP não precisam ser alteradas, pois a alcançabilidade não é alterada. O único procedimento é redirecionar o tráfego IP para a nova conexão.

Inter Access Router

Quando o deslocamento ocorre entre ARs distintos a alcançabilidade do dispositivo é afetada, e informações sobre roteamento devem ser atualizadas. Quando o deslocamento é realizado entre ARs de um mesmo domínio, somente a entidade responsável pelo gerenciamento de mobilidade local (MAP) necessita ser atualizada. Quando ocorre deslocamento entre ARs de domínios distintos, o HA e o MAP também necessitam ser atualizados.

Para reduzir o período de interrupção de serviços que ocorre quando os MNs se deslocam entre dois ARs, recomendamos a utilização do HMIPv6 associado aos mecanismos de Fast Handoff, apresentado por Dommety et alii [Dommety01]. No MIPv6 padrão, a interrupção é mais acentuada devido ao elevado tempo gasto pelo MN para atualizar seu HA depois que ocorre a transferência da conexão. O HMIPv6 gerencia localmente os deslocamentos, e em conjunto com o mecanismo de Fast Handoff, que antecipa o redirecionamento do tráfego antes do deslocamento definitivo, permitem reduzir a interrupção de serviços significativamente.

4.4.2 Seleção do ponto de acesso

Além de definir métodos para a redução do tempo de conexão, abordamos o problema da seleção incorreta do BtAP. O BtAP selecionado deve possuir recursos para prover uma conexão eficiente.

A atual PAN Profile [PAN01] recomenda a classificação os pontos de acesso considerando o número de dispositivos conectados. No entanto, somente este parâmetro é insuficiente para determinar qual o ponto de acesso mais adequado, que poderá fornecer um tempo de conexão menor e qualidade de serviço superior.

Nesta seção, apresentamos uma proposta de seleção de BtAPs, que durante o Inquiry considera a quantidade de dispositivos conectados, e o intervalo com que o BtAP estará executando o Inquiry Scan(*TinqScan*). Para o Page, consideramos a quantidade de dispositivos conectados ao BtAP, a sua carga, e a regularidade com que executa o Page Scan(*TpageScan*).

A seleção do BtAP adequado é de extrema importância, pois reflete diretamente sobre o número de *handoffs* bloqueados, a qualidade do serviço oferecido e a latência do processo de Inquiry e Page.

Durante o estabelecimento da conexão, o pacote FHS é retornado como resposta ao Inquiry. O *payload* do pacote FHS, demonstrado na Figura 4-u, contém informações de identificação e relógio sobre o escravo, que auxiliarão o processo de Page.

Estamos interessados em coletar somente respostas de pontos de acessos ao alcance. Por isso, seguindo a especificação deve-se atribuir o valor 00011(binário) ao *Major Device Class* do campo *Class-of-Device*. O sub-campo *Minor Device Class* está livre para utilização nesta classe de dispositivos. Utilizamos os 3 primeiros bits mais significativos deste campo para representar o número de escravos (definido na especificação); nos 3 bits restantes que estão livres, representamos o *TinqScan*. A Figura 4-u ilustra o posicionamento no *payload* do pacote FHS dos campos anteriormente citados. Os valores para o *TinqScan* foram definidos seguindo a proposta de configuração Baseband para os BtAPs, apresentada na Tabela 4-c.

A carga na rede não é diretamente dependente do número de dispositivos conectados, mas sim das aplicações. Por isso, não seria consistente classificar o ponto de acesso considerando somente o número de BtMN conectados.

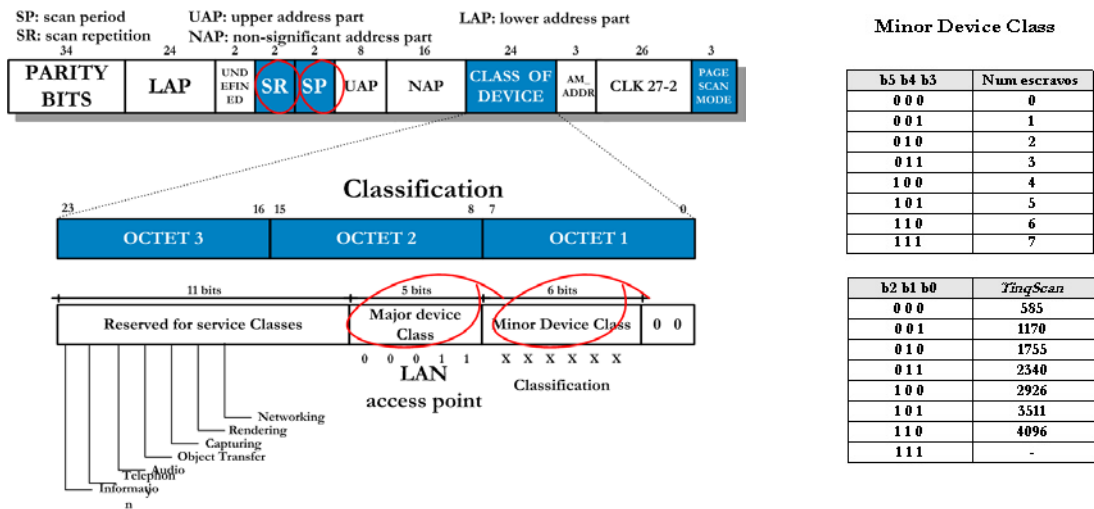


Figura 4-u: Payload FHS

A função de classificação dos BtAPs deve priorizar os pontos de acesso com menor carga e que possuem uma probabilidade de conexão com sucesso maior. Definimos a função $BtAP(k)$ para calcular qual BtAP poderá fornecer melhor qualidade de serviço. Para o Inquiry a função considera o número de escravos(E) e o intervalo de Inquiry Scan (IS). Para o Page, o número de escravos, o intervalo de Page Scan(PS) e a carga(C) no BtAP. O ponto de acesso, que fornecer menor valor de $BtAP(k)$ será o ponto de acesso selecionado pelo BtMN para estabelecer a nova conexão.

Inquiry Scan:

$$BtAP(k) = E(k) + IS(k)$$

Page Scan:

$$BtAP(k) = E(k) + PS(k) + C(k)$$

onde:

- k representa o índice do ponto de acesso selecionado;

- $E(k) = \frac{7}{7-n}, 0 \leq n \leq 6$. $E(k)$ classifica o custo da conexão com o ponto de acesso k , considerando que possui n escravos conectados. $E(k)$ varia de 1 a 7, refletindo a existência de 0 a 6 escravos respectivamente;

- $IS(k) = \frac{7}{7-n}, 0 \leq n \leq 6$, n representa o valor relativo de $TinqScan$ de acordo com a Tabela 4-c. Semelhantemente, $PS(k)$ o valor de $TpageScan$. Apesar de haver um relacionamento direto entre o número de dispositivos conectados e o $TinqScan/TpageScan$ nos dispositivos que seguem a configuração proposta(seção 4.3.1), os dispositivos podem utilizar os modos definidos para aumentar/reduzir

a probabilidade de conexão. Portanto, nem sempre teremos um relacionamento direto entre o número de escravos e o modo de operação que representa os valores do $T_{inqScan}$ e $T_{pageScan}$;

- $C(k) = \frac{7}{7-n}, 0 \leq n \leq 6$, n representa a centena do valor que representa a carga do BtAP. Em uma conexão ACL, a carga pode variar de 0 a 723.2 Kbps. Deste modo, BtAPs com carga maior de 700Kbps são descartados.

Embora estejam relacionados, a carga e o número de dispositivos não devem ser considerados como parâmetros dependentes. Em contextos onde há dispositivos em modo *hold*, *sniff* ou *park*, o número de dispositivos conectados não representa diretamente a carga. Por isso, optamos por considerar esses parâmetros individualmente.

4.5 Resumo

Neste capítulo levantamos os problemas relacionados ao modelo de conexão corrente. No modelo atual, quando o dispositivo escravo em INQUIRY_SCAN seleciona uma frequência não pertencente à seqüência de INQUIRY utiliza, há uma grande latência no tempo de conexão. Este problema pode ocorrer na primeira ou na segunda sincronização. No último caso, é decorrente da seleção de outra seqüência de INQUIRY durante o Random BackOff do escravo. Para solucionar esse problema, que é um fator crítico no contexto de mobilidade, propomos um novo modelo de conexão que eliminou os problemas citados. Os resultados podem ser vistos no capítulo a seguir (Capítulo 5).

Além desta proposta, definimos os requisitos necessários para que dispositivos suportem a transferência de uma conexão ativa. No enlace, foram definidos os comandos LMP para sinalizar o *handoff* e transmitir as informações referentes ao estado dos dispositivos na rede. Na camada de rede, foram listados os *drafts/RFCs* que devem ser implementados.

Complementando as modificações no enlace, devido às modificações no modelo de conexão, implementamos comandos HCI para configurar a Baseband.

Capítulo 5

Simulações

Este capítulo apresenta as avaliações da proposta(seção 4.2.2) de redução de latência do modelo conexão e as conclusões com base nos resultados obtidos. As avaliações foram realizadas utilizando-se Network Simulator, um simulador de redes de domínio público desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Berkeley.

5.1 Introdução

No capítulo anterior propomos uma arquitetura para permitir *handoff* entre pontos de acesso Bluetooth. Devido à dificuldade financeira para a aquisição de plataformas de desenvolvimento para a criar um protótipo da arquitetura, realizamos simulações do modelo de conexão proposto para demonstrar a viabilidade da solução proposta. Devido à complexidade da arquitetura e a deficiência da ferramenta de simulação, avaliamos somente os aspectos chaves do modelo de conexão.

Este capítulo apresenta a modelagem e os resultados de simulações obtidos. O simulador utilizado, Network Simulator (NS), é um simulador de domínio público baseado em eventos discretos que oferece um conjunto compreensivo de rotinas para simulação de componentes. O simulador é orientado a objetos, implementado na linguagem C++, e utiliza o interpretador OTcl²¹ como interface de comandos e configuração.

O módulo de suporte ao Bluetooth, Bluehoc, implementado no NS pela IBM[Bluehoc] foi utilizado. No BlueHoc foram implementadas as funcionalidades básicas das camadas do Bluetooth. Como nem todas as funcionalidades necessárias para o desenvolvimento deste trabalho foram implementadas no BlueHoc, tivemos que implementar algumas funcionalidades ausentes e adicionar as entidades e protocolos da arquitetura proposta.

O objetivo da simulação é demonstrar a viabilidade do modelo proposto na seção 4.2.2, e compará-lo com o comportamento padrão definido na especificação Bluetooth v1.1. Nestas simulações focamos os problemas decorrentes do chaveamento de seqüências durante o processo de conexão e investigamos o impacto do valor do *random back-off time* sobre o tempo total de conexão.

Os resultados de simulação obtidos demonstram que o modelo proposto reduz o tempo médio de conexão quando ocorre chaveamento de seqüências durante o processo de sincronização. Quando ocorre seleção de freqüências que não pertencem à seqüência corrente transmitida pelo mestre, a proposta apresentada reduziu o tempo de conexão eliminando a dependência da seqüência transmitida.

²¹ OTcl é uma extensão orientada a objetos da linguagem script *Tcl*. OTcl é utilizado para definir os objetos de simulação que fornece uma excelente interface de controle e configuração.

5.2 Metodologia de Simulação

Foram realizados quatrocentos experimentos. Nos primeiros duzentos, avaliamos a comportamento normal descrito na especificação, variando o tempo de início do INQUIRY_SCAN e o Random BackOff máximo. Aplicamos o mesmo método para o modelo de conexão proposto, as mesmas entradas foram utilizadas para ambas a simulações.

O tempo de início de um dispositivo não é determinístico. Não há meios de se prever quando os dispositivos Bluetooth serão ligados ou quando estarão executando processos relacionados à criação de uma nova conexão. Por isso, modelar uma situação real é uma atividade complexa. Para simplificar a simulação, utilizamos somente um dispositivo mestre e um escravo. Fixamos o tempo que o mestre inicia o INQUIRY em zero, e variamos o tempo de início do INQUIRY_SCAN do escravo, distribuindo-o uniformemente no intervalo de 0 a 2,56s. Fatores externos, como interferência, distância entre dispositivos, e classes de dispositivos foram desconsideradas nesse trabalho.

Utilizamos como valor máximo 2,56s para cobrir as situações que ocorrem chaveamento de seqüência após 256 transmissões. Segundo a especificação, cada seqüência (A ou B) é transmitida seqüencialmente 256 vezes. A transmissão é alternada até o tempo máximo de INQUIRY expirar, cujo valor padrão é 10,24s, o que equivale à transmissão de: $256A+256B+256A+256B$.

Para melhor visualizar os resultados e evitar grandes diferenças nos resultados, dividimos o intervalo de início de INQUIRY_SCAN do escravo em 4 sub-intervalos de mesma proporção:

Sub-Intervalo	Valores
1	[0 – 640 ms)
2	[640ms – 1280 ms)
3	[1280 – 1920 ms)
4	[1920 – 2560 ms)

Tabela 5-a: Intervalos de Início do INQUIRY_SCAN

Dentro de cada sub-intervalo, foram selecionados dez valores aleatórios de tempo de início do INQUIRY_SCAN, uniformemente distribuídos dentro de cada sub-intervalo. Para todos os sub-intervalos avaliados, o mesmo conjunto de freqüências inicial de INQUIRY_SCAN foi utilizado. Das 32 possíveis freqüências de INQUIRY_SCAN, foram selecionadas 5 freqüências pertencentes à seqüência A e 5 à seqüência B para evitar resultados enviesados. As freqüências selecionadas foram:

Seqüência A = {f(k-7), f(k-5), f(k-1), f(k+1), f(k+5)}

Seqüência B = {f(k-15), f(k-12),f(k-10),f(k+11),f(k+14)}

Para cada sub-intervalo, foram executadas simulações sobre a influência do Inquiry Random BackOff máximo sobre a segunda sincronização. O Random BackOff máximo é de 640ms segundo a especificação Bluetooth. Objetivando avaliar a influência deste parâmetro sobre a segunda sincronização, definimos cinco valores máximos como descrito na tabela a seguir.

Segmentos	Mili-segundos
128	40
256	80
512	160
1024	320
2046	640

Tabela 5-b: Random BackOff Máximos

* cada segmento equivale a 312.5 us

Portanto, para cada sub-intervalo realizamos 50 simulações, 10 para cada Random BackOff Máximo. Para cada Random BackOff máximo utilizamos o mesmo conjunto de valores de tempo de início.

5.3 Análise dos Resultados: Tempo de sincronização e de conexão

5.3.1 Efeito do tempo de início

Nesta seção analisamos o comportamento da especificação Bluetooth v1.1, avaliamos o tempo médio da 1ª sincronização, o tempo da 2ª sincronização e o tempo de conexão. O gráfico da Figura 5-a apresenta no eixo de coordenadas y o tempo em que o processo ocorreu e no eixo de coordenadas x, os sub-intervalos de início do INQUIRY_SCAN, definidos na Tabela 5-a.

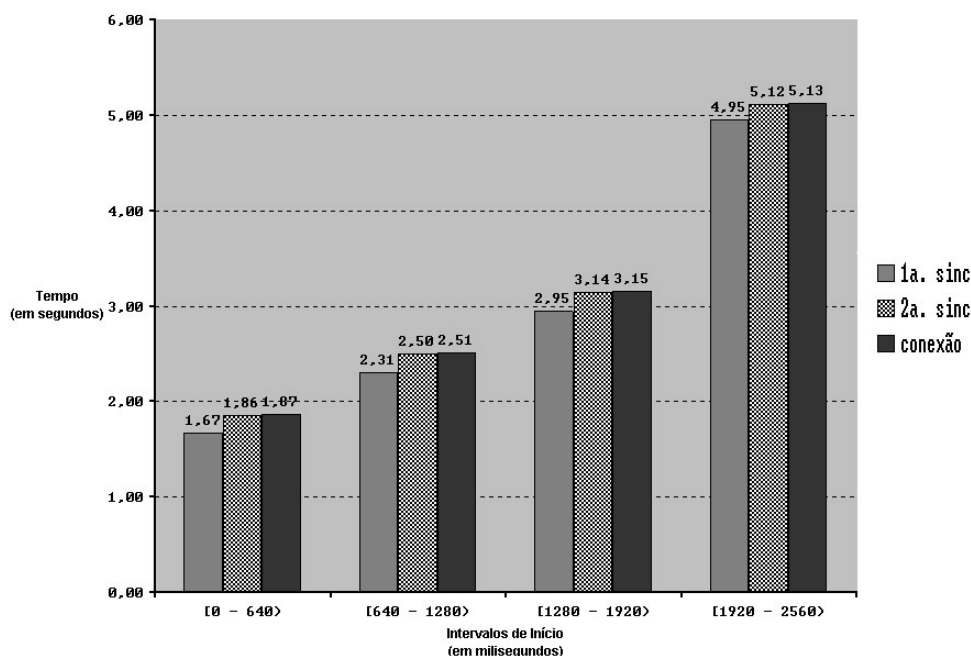


Figura 5-a: Sincronização e conexão na especificação

Os resultados demonstram que há um aumento acentuado dos tempos de sincronização e de conexão quando o tempo de início do INQUIRY_SCAN aproxima-se do tempo de seleção da seqüência complementar de INQUIRY. Este resultado representa o problema de sincronização descrito na seção 4.2.1.

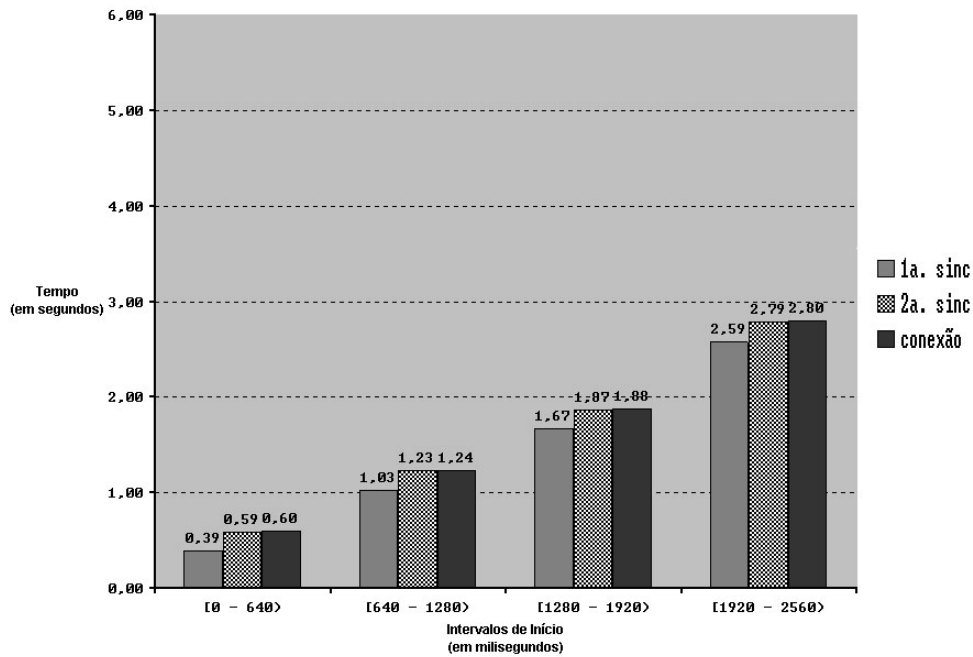


Figura 5-b: Sincronização e conexão no modelo proposto

O gráfico da Figura 5-b apresenta os resultados de simulação obtidos no modelo proposto. Ao compararmos o gráfico da Figura 5-a com o da Figura 5-b, observa-se que há uma redução de aproximadamente 1,27s nos três primeiros sub-intervalos. No último sub-intervalo, onde ocorrem problemas de sincronização causados pela seleção de outra seqüência durante o período de Random BackOff, obtivemos uma redução de aproximadamente 2,33s.

	σ (proposta)	IC conexão (proposta)	σ (espec)	IC conexão (espec)
[0-640)	0.232	0.536 < 0.60 < 0.664	1.335	1.5 < 1.87 < 2.24
[640-1280)	0.232	1.176 < 1.24 < 1.304	1.335	2.14 < 2.51 < 2.88
[1280-1920)	0.232	1.816 < 1.88 < 1.944	1.478	2.74 < 3.15 < 3.56
[1920-2560)	0.897	2.551 < 2.80 < 3.049	2.644	4.397 < 5.13 < 5.863

Tabela 5-c: intervalo de 95% confiança para o tempo médio de conexão

O coeficiente de confiança buscado na normal padrão é valor $z_{\alpha/2}$ de Z tal que:

$P(Z > z_{\alpha/2}) = 2,5\%$, ou então: $\Phi(-z_{\alpha/2}) = 2,5\%$. Este valor equivale a 1,96.

A diferença para os três primeiros sub-intervalos manteve-se constante, os tempos estão deslocados pelos valores base do tempo de início do INQUIRY_SCAN: 0ms, 640ms, 1280ms. Isto demonstra que o tempo de início do INQUIRY_SCAN não compromete o tempo de conexão para estes sub-intervalos.

A figura a seguir representa os dados apresentados na Tabela 5-c. Os intervalos de confiança estão representados em segundos.

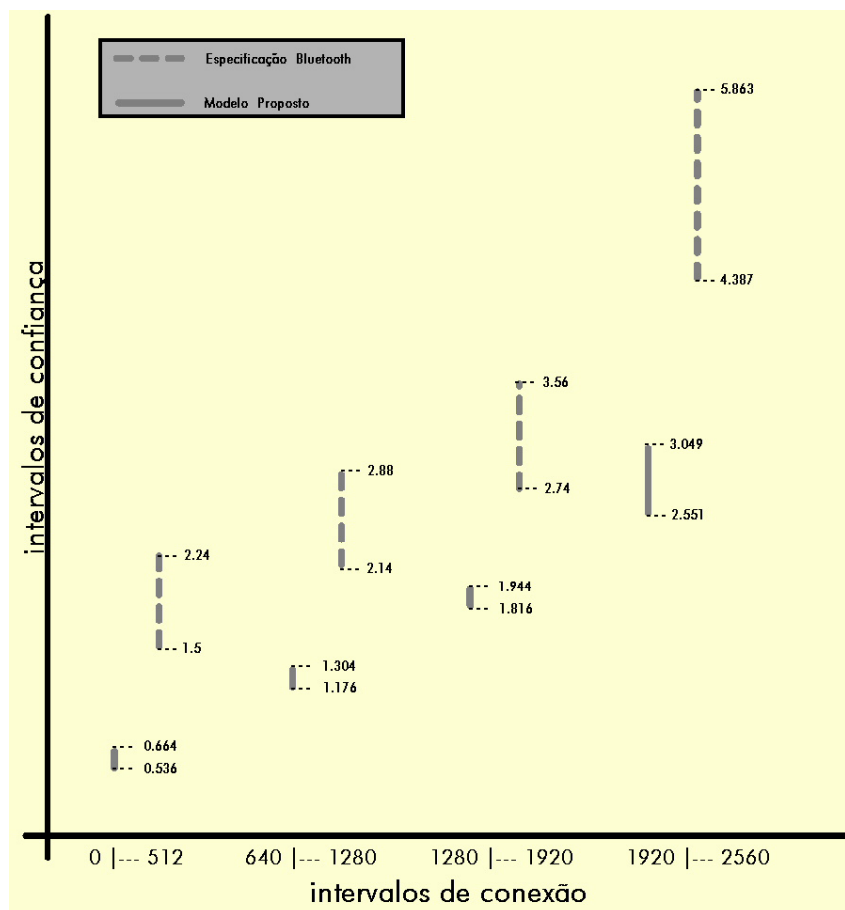


Figura 5-c: Intervalo de 95% confiança para o tempo médio de conexão

5.3.2 Efeito da Seqüência Transmitida

Como comentamos anteriormente, selecionamos uniformemente as freqüências de modo que metade pertence à seqüência A, e a outra metade à B. Utilizando a especificação Bluetooth v1.1, observamos que há uma grande diferença no tempo de conexão quando a freqüência selecionada de INQUIRY_SCAN não pertence à seqüência corrente de INQUIRY.

Supusemos que o dispositivo mestre sempre inicia transmitindo a seqüência A. Por isso, as colunas de legenda “seqüência A”, que representam o tempo de conexão para as freqüências iniciais de INQUIRY_SCAN pertencentes à seqüência A, possuem tempo menor.

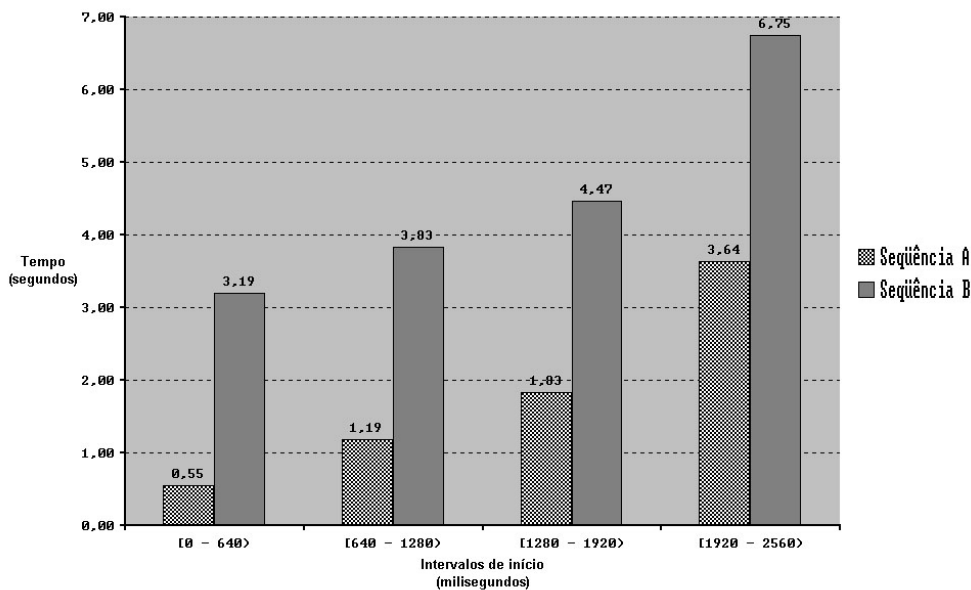


Figura 5-d: Freq. não pertencente à seqüência corrente na especificação

No modelo de conexão atual, como pode ser observado no gráfico da Figura 5-d, há um comprometimento no tempo de conexão quando a freqüência de INQUIRY_SCAN selecionada não pertence a seqüência corrente, no nosso caso: “seqüência A”. A sincronização ocorrerá somente com a seleção da seqüência de INQUIRY complementar: seqüência B.

O tempo de sincronização no sub-intervalo “[1920-2560)” possui um comportamento diferenciado devido a dois problemas:

1. Nas freqüências pertencentes à seqüência A, pode ocorrer seleção da seqüência complementar durante o Random BackOff, ou seja, na primeira sincronização a freqüência selecionada pertence à seqüência A, mas o dispositivo em INQUIRY selecionou a seqüência B durante o Random BackOff.
2. A primeira sincronização pode não ocorrer devido ao limitado período restante de INQUIRY.

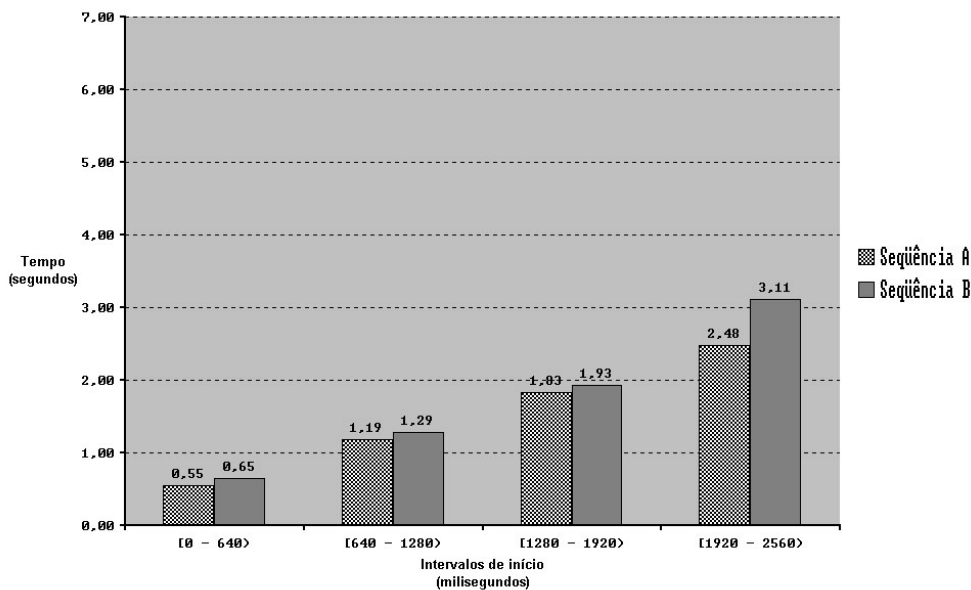


Figura 5-e: Freq. não pertencente à seqüência corrente no modelo proposto

Como pode ser observado na Tabela 5-d, obtivemos uma redução de aproximadamente 2,54s sobre o tempo de conexão nos três primeiros sub-intervalos de INQUIRY_SCAN quando a frequência selecionada pertence a seqüência B no modelo proposto. Para o último sub-intervalo a redução observada foi de aproximadamente 1,16s para as frequências pertencentes à seqüência A, e uma redução de aproximadamente 2,64s para as pertencentes à B.

	Seq A Figura 5-d	Seq A Figura 5-e	Diferença	Seq B Figura 5-d	Seq B Figura 5-e	Diferença
[0-640)	0,55	0,55	0	3,19	0,65	2,54
[640-1280)	1,19	1,19	0	3,83	1,29	2,54
[1280-1920)	1,83	1,83	0	4,47	1,93	2,54
[1920-2560)	3,64	2,48	1,16	5,75	3,11	2,64

Tabela 5-d: Redução do tempo de conexão considerando as seqüências

Para as frequências pertencentes à seqüência A, não há diferença nos três primeiros sub-intervalos porque refletem o melhor caso, nos quais não são observados problemas de sincronização.

5.3.3 Efeito do Random BackOff Time

Nesta seção analisamos a influência do valor do *random back-off time* sobre o tempo de conexão em cada um dos sub-intervalos definidos previamente.

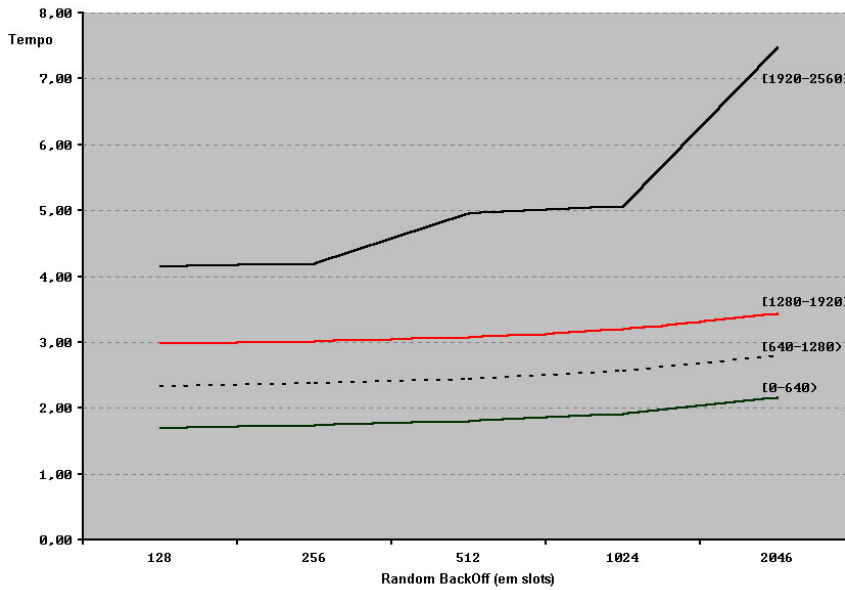


Figura 5-f: Random BackOff na especificação

Como observado na Figura 5-f, que representa o comportamento da especificação Bluetooth v1.1, o valor do *random back-off time* mostrou-se problemático somente no último sub-intervalo. Elevados valores aumentam a probabilidade de ocorrer seleção de outra seqüência de INQUIRY durante o período de tempo do Random BackOff. Este problema ocorre quando o tempo restante para a seleção de outra seqüência de INQUIRY é menor que o *random back-off time* selecionado.

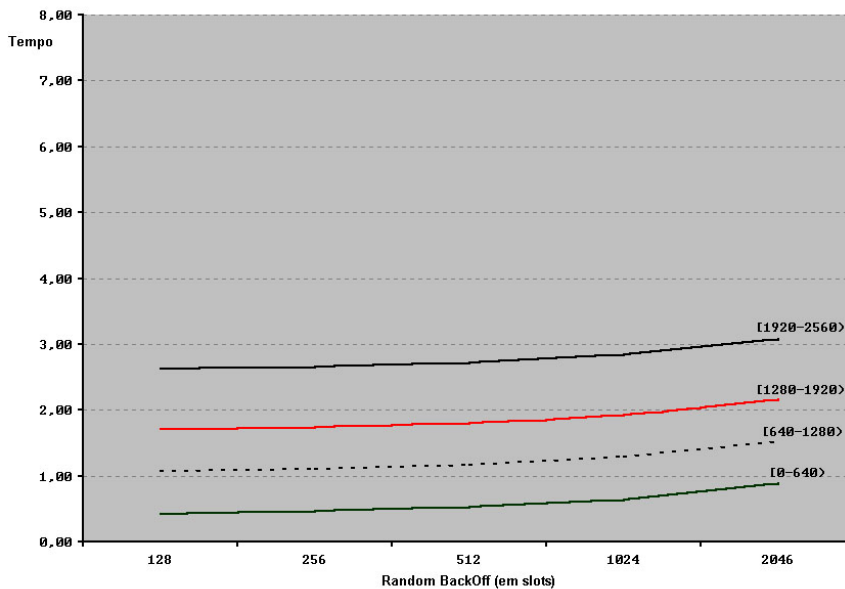


Figura 5-g: Random BackOff no modelo proposto

No modelo proposto, representado pela Figura 5-g, observa-se que houve redução no tempo de conexão em todos os sub-intervalos, e a eliminação o problema causado pelo *random*

back-off time no último sub-intervalo “[1920-2560]”: elevados valores de *random back-off time* não aumentam a probabilidade de falha de sincronização.

A primeira coluna de cada sub-intervalo da tabela a seguir representa o tempo de conexão obtido nas simulações da especificação Bluetooth v1.1, a segunda coluna representa os valores no modelo proposto. Os valores de simulação obtidos podem ser visualizados na Tabela 5-e.

Random BackOff Máx	[0-640)	[640-1280)	[1280-1920)	[1920-2560)				
128	1.70	0.44	2.35	1.08	2.99	1.72	4.16	2.64
256	1.74	0.47	2.39	1.11	3.03	1.75	4.20	2.67
512	1.80	0.53	2.45	1.17	3.09	1.81	4.96	2.73
1024	1.92	0.65	2.57	1.29	3.21	1.93	5.07	2.85
2046	2.16	0.89	2.81	1.53	3.45	2.17	7.48	3.09

Tabela 5-e: Análise do Random BackOff time sobre o tempo de conexão

Reduzir somente o *random back-off time* no modelo de conexão da especificação Bluetooth v1.1 não demonstrou ser eficiente para reduzir o tempo de conexão, como pode ser observado na Figura 5-f, se comparado com o novo modelo de conexão proposto(Figura 5-g). Embora não seja um valor expressivo, essa redução no tempo pode ser considerada uma vez que a redução no *random back-off time* não representa problemas na sincronização.

5.4 Conclusões

O tempo de início do INQUIRY_SCAN é o parâmetro de maior influência sobre o tempo de conexão. Como este parâmetro não pode ser previsto ou alterado, devemos focalizar nos outros parâmetros que podem ser modificados: o Random Backoff e a frequência de INQUIRY_SCAN selecionada.

Os resultados demonstraram que a proposta apresentada para contornar o problema de sincronização de frequências é eficiente e não adiciona custos ao melhor caso. O problema decorrente da seleção de frequências de INQUIRY_SCAN não pertencente à seqüência de INQUIRY corrente, bem como o problema da seleção de outra seqüência de INQUIRY durante o *random back-off time* não foram mais observados.

Além das características acima citadas, o modelo proposto requer pouca modificação no modelo de conexão dos dispositivos que executam o INQUIRY_SCAN. O mestre, que executa o INQUIRY não necessita nenhuma alteração funcional; a compatibilidade com a especificação atual é mantida.

Capítulo 6

Conclusão e Trabalhos Futuros

Este capítulo apresenta um resumo dos capítulos apresentados anteriormente, as conclusões, as dificuldades encontradas durante o desenvolvimento deste trabalho, e por último as propostas de trabalhos futuros. Nas conclusões focamos as contribuições deste trabalho e os resultados obtidos com o modelo de conexão proposto.

6.1 Resumo

No Capítulo 1 introduzimos este trabalho: apresentamos as motivações que levaram ao desenvolvimento deste, e traçamos os objetivos e o escopo do trabalho.

No Capítulo 2 apresentamos as características da tecnologia Bluetooth. Os principais assuntos abordados foram a Baseband Bluetooth e seu modelo de conexão atual, as limitações, e os trabalhos relacionados à mobilidade de dispositivos Bluetooth.

No Capítulo 3 apresentamos as pesquisas IETF relacionadas ao IP Móvel. Foi visto o estado da arte nesta linha de pesquisa: o modelo corrente, os problemas, e as pesquisas para eliminá-los. Os protocolos voltados para a micro-mobilidade explicados foram: HMIPv6, Cellular IP e HAWAII. Outras pesquisas apresentadas foram o Fast Handoff e o Simultaneous Binding, que auxiliam quando a tecnologia em questão utiliza multiplexação de tempo, ou seja, não consegue receber informações provenientes de diferentes fontes simultaneamente.

No Capítulo 4 apresentamos nossa proposta de *handoff* de dispositivos Bluetooth entre pontos de acesso. Discutimos as deficiências do modelo de conexão atual e apresentamos um novo modelo. Também foram descritos os requisitos chaves para permitir a transferência de uma conexão ativa.

Com o objetivo de validar o modelo de conexão proposto no Capítulo 4, realizamos algumas simulações cujos resultados foram apresentados no Capítulo 5. Os resultados demonstraram os benefícios do modelo de conexão proposto. Os pontos explorados foram a influência do *random back-off time* e da frequência selecionada sobre o modelo de conexão atual e o modelo proposto.

6.2 Conclusões

As evoluções no campo das telecomunicações indicam que a ubiqüidade é cada vez mais realidade, e associada à Internet representam importantes funcionalidades que devem ser providas pelas tecnologias sem-fio. A computação ubíqüa é um paradigma inspirado no acesso constante à informação e às capacidades computacionais.

O bluetooth é uma tecnologia sem-fio que promete revolucionar o conceito de conectividade pessoal. O objetivo é eliminar a quantidade excessiva de fios interligando os dispositivos portáteis: celulares, *notebooks*, *handhelds*, etc. A operabilidade global e o modelo de conexão transparente tornam esta tecnologia ideal para este novo paradigma computacional.

Com o objetivo de integrar o Bluetooth dentro desta visão, desenvolvemos este trabalho para enriquecer as funcionalidades providas pela especificação Bluetooth corrente.

Atualmente, a comunicação no Bluetooth restringe-se a um único ponto de acesso, não possui mecanismos para permitir a transferência de uma conexão ativa, ou seja, não há suporte para *handoff*. Outra deficiência desta tecnologia diz respeito ao elevado tempo de conexão, um fator crítico para aplicações que requerem um tempo de resposta reduzido ou para tecnologias nas quais *handoff* entre pontos de acesso é suportado.

Tendo em mente as perspectivas futuras e as atuais limitações do Bluetooth, apresentamos neste trabalho uma proposta de mobilidade para dispositivos Bluetooth, que possibilita *roaming* e *handoff* na rede local. O *roaming* é manipulado pelo IP Móvel, e o *handoff* é gerenciado pelas camadas de enlace e de rede. O foco concentra-se na definição dos requisitos de enlace, para permitir um modelo de conexão mais eficiente; e na definição dos comandos LMP para a sinalização e transferência de informações entre as entidades envolvidas.

A principais contribuições deste trabalho foram:

- **Estado da arte.** Referência para o Bluetooth e Mobilidade IP. O foco maior foi dado ao modelo de conexão Bluetooth, sobre o qual foram explicados em detalhes os processos de Inquiry e Page. Em relação à Mobilidade IP, foram explicados o IP Móvel, e outras pesquisas relacionadas: Fast Handoff, Simultaneous Binding, HMIPv6, Cellular IP e HAWAII.
- **Deficiências funcionais.** O levantamento dos problemas da especificação Bluetooth v1.1 com relação ao modelo de conexão e mobilidade. O principal problema encontrado está relacionado à seleção de frequência de Inquiry Scan/Page Scan não pertencente à seqüência utilizada pelo mestre. Neste caso, o tempo de conexão possui uma latência de até 2,56s no pior caso (quando a seleção de frequência ocorreu recentemente);
- **Novo modelo de conexão.** Proposta de melhoria do modelo de conexão atual, tornando-o mais eficiente nos casos onde ocorrem problemas de sincronização decorrente da frequência de Inquiry Scan selecionada. A elevada latência do modelo de conexão atual é um fator crítico ao contexto de mobilidade, o modelo proposto demonstrou ser eficiente, eliminando os problemas de seleção de frequência de INQUIRY_SCAN não pertencente à seqüência de INQUIRY. Em relação à compatibilidade com a especificação atual, as alterações no modelo proposto não prejudicam a sincronização, pois somente o Page Scan e Inquiry Scan necessitam ser modificado;

- **Requisitos de Enlace.** Definição dos requisitos necessários na camada de enlace do Bluetooth para possibilitar a transferência de uma conexão ativa, e os comandos LMP para informar o status atual dos dispositivos e sinalizar o *handoff*;
- **Requisitos da camada de Rede.** O levantamento dos requisitos da camada de rede necessários para suportar o IP Móvel. Foram enumerados os *drafts* e RFCs mandatórios para suportar o MIPv6 e o HMIPv6;
- **Políticas de classificação dos BtAPs.** Definição de uma política eficiente, com foco no balanceamento de carga. Esta política trabalha basicamente sobre os parâmetros *TpageScan* e *TinqScan*, reduzindo ou aumentando a probabilidade de conexão de acordo com a carga atual.

Embora um protótipo não fora implementado, este trabalho apresenta um conjunto de contribuições que podem auxiliar futuras implementações e representa uma referência completa para implementações de *handoff* entre pontos de acesso Bluetooth.

6.3 Dificuldades encontradas

Esta foi uma pesquisa isolada, não houve suporte direto de outros grupos de pesquisa dentro deste Centro de Pesquisa. As dúvidas que surgiram durante o desenvolvimento foram esclarecidas através de listas de discussões ou contatando diretamente os autores dos trabalhos referenciados.

A falta de equipamentos foi sem dúvida um fator que dificultou muito o desenvolvimento deste trabalho, e influenciou diretamente o foco deste trabalho. Experimentos práticos ou um protótipo trariam resultados mais expressivos do que a simulação parcial do modelo.

A ferramenta de simulação utilizada, o Bluehoc, não implementa todas funcionalidades Baseband e não suporta iterações. Tivemos que alterar o código referente ao comportamento da Baseband para suportar a proposta na seção 4.2.2 e extrair as métricas de tempo de sincronização e conexão. Para permitir iterações, implementamos um script *tl* para alimentar o simulador com parâmetros de entrada.

6.4 Trabalhos futuros

Devido à complexidade do assunto avaliamos parcialmente a proposta. Muitos detalhes ainda precisam ser explorados. Como trabalhos futuros sugiro os seguintes itens:

- **Algoritmos e Métricas de Handoff.** Avaliar métricas e algoritmos mais consistentes ao contexto pico-celular. Devido ao pequeno tempo de reação necessário, algoritmos e métricas que capturem as características do ambiente associadas a pesquisas de inteligência computacional podem auxiliar no processo de tomada de decisão de qual ponto de acesso selecionar;
- **Consumo de Bateria.** Avaliar o consumo de bateria no modelo de conexão proposto;
- **DIAC.** Avaliação dos benefícios da utilização de Dedicated Inquiry Access Code sobre o processo de Inquiry;
- **Disparo de Handoff.** Estudos sobre corretos valores para o disparo do *handoff*: início do PAGE e transferência da conexão;
- **Endereçamento Funcional.** Avaliar o endereçamento funcional: seus benefícios, deficiências dentro do paradigma de computação ubíqua;
- **Interferência.** Análise sobre a influência da presença de múltiplos pontos de acesso e interferência com outras tecnologias como IEEE 802.11 e HomeRF;
- **MCHO.** Avaliar o *Mobile Controlled Handoff* sobre o modelo proposto;
- **Multi-cast e Clusters.** Estudar a possibilidade de utilização de *bi-cast*, *n-cast* para reduzir a perda de pacotes durante o *handoff* e a indeterminação de quando o *handoff* deve ser efetuado. Estudos sobre a possibilidade de implementação de *clusters* dinâmicos para reduzir o escopo do multi-cast.
- **Paging.** Estudos poderiam ser realizados para avaliar a viabilidade da utilização de Paging para reduzir o consumo de energia e melhorar a eficiência da localização;
- **Protótipo.** Implementação de um protótipo que suporte as funcionalidades discutidas;
- **Redes Heterogêneas.** Estudar a possibilidade de integração desta proposta ao contexto de redes heterogêneas, avaliando os métodos para permitir o *handoff* entre tecnologias;
- **Segurança.** Estudos sobre mecanismos de segurança para inibir a quebra do sigilo das informações transmitidas;
- **Topologia.** Estudos sobre como os pontos de acesso devem ser distribuídos de acordo com o ambiente, considerando fatores como a carga e número de usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [3GIP] Third Generation IP, <http://www.3gip.org>
- [Akyıldız98] AKYILDIZ, Ian F., McNAIR, Janise, HO, Joseph, UZUNALIOGLU, Hüseyin, e WANG, Wenye, “Mobility Management in Current and Future Communications Networks”, IEEE Networks, Julho/Agosto de 1998.
- [Atwal01] ATWAL, Kulwinder e AKERS, Ron, “Transmission of IP Packets over Bluetooth Networks”, draft-akers-atwal-btooth-00.txt, trabalho em andamento, Maio de 2001.
- [Baatz00] BAATZ, Simon, FRANK, Matthias, GÖPPFARTH, Rolf, KASSATKINE, Dmitri, MARTINI, Peter, SCHETELIG, Markus, e VILAVAARA, Asko, “Handoff Support for Mobility with IP over Bluetooth”, LCN’00, Tampa, FL, USA, Novembro de 2000.
- [Bluehoc] Bluehoc, disponível na internet via WWW: URL <http://www-124.ibm.com/developerworks/projects/bluehoc>
- [BNEP01] Bluetooth Special Interest Group, “Bluetooth Network Encapsulation Protocol (BNEP) Specification”, Junho de 2001.
- [BtSpec01] Bluetooth Special Interest Group, “Specification of the Bluetooth System”, version 1.1, Fevereiro de 2001.
- [Campbell00] CAMPBELL, Andrew T., GOMEZ, Javier, KIM, Sanghyo, VALKÓ, András G., WAN, Chieh-Yih, TURÁNYI, Zoltán R., “Design, Implementation, and Evaluation of Cellular IP”, IEEE Personal Communications, Agosto de 2000.
- [Dommety01] DOMMETY, G., YEGIN, A., PERKINS, Charles, TSIRTISIS, G., EL-MALKI, Karim, KHALIL, M., “Fast Handovers for Mobile IPv6”, draft-ietf-mobileip-fast-mipv6-02.txt, trabalho em andamento, Julho de 2001.
- [Haartsen00] HAARTSEN, Jaap C, "BLUETOOTH: A New Radio Interface Providing Ubiquitous Connectivity", IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), Maio de 2000, Tokyo, Japão.
- [Jliu98] LIU, Juntong, “A Network Architecture for highly integrated Access Points for use by Multimedia Mobile Terminals”, Tese submetida ao Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, Março de 1998.
- [Malki01] EL-MALKI, Karim e SOLIMAN, Hesham, “Simultaneous Bindings for

- Mobile IPv6 Fast Handoffs”, draft-elmalki-mobileip-bicasting-v6-00.txt, trabalho em andamento, Julho de 2001.
- [Maric00] MARIC, Ivana, “Connection Establishment in the Bluetooth System”, master thesis, Rutgers, New Brunswick, New Jersey, Outubro de 2000.
- [McDaid00] Mc DAID, Cathal, “Routing Connections in Bluetooth”, graduation thesis, University of Limerick, Limerick, Ireland, Abril de 2000.
- [Muller00] MULLER, Nathan J., "Bluetooth Demystified", McGraw-Hill Professional; ISBN: 0071363238; 1a. Edição Setembro de 2000.
- [Palowireless] Bluetooth Tutorial, disponível na internet via WWW:URL: <http://www.palowireless.com/bluetooth>
- [PAN01] Bluetooth Special Interest Group, “Personal Networking Profile”, Junho de 2001.
- [Perkins01a] PERKINS, Charles, “Mobility Support in IPv6”, draft-ietf-mobile-ipv6-15.txt, trabalho em andamento, Julho de 2001.
- [Perkins01b] PERKINS, Charles e JOHNSON, David, “Route Optimization in Mobile IP”, draft-ietf-mobileip-optim-11.txt, trabalho em andamento, Setembro de 2001.
- [Ramjee99] RAMJEE, Ramachandran, LA PORTA, Luca, THUEL, Sandra, VARADHAN, Kannan e WANG, Shie-Yuan, “HAWAII: A Domain-based Approach for Supporting Mobility in Wide-area Wireless networks”, International Conference on Networks Protocols (ICNP’99)
- [Salonidis01] SALONIDIS, Theodoros , BHAGWAT, Pravin, TASSIULAS, Leandros, e LAMAIRE, Richard, “Distributed Topology Construction of Bluetooth Personal Area Networks”, IEEE Infocom 2001, Anchorage - Alaska, Abril de 2001.
- [Siegmond02] SIEGEMUND, Frank e ROHS, Michael, “Rendezvous Layer Protocols for Bluetooth-Enabled Smart Devices”, 1st International Conference on Architecture of Computing Systems – Trends in Network and Pervasive Computing – ARCS2002, Karlsruhe, Germany, Abril de 2002.
- [Soliman01] SOLIMAN, Hesham, CASTELLUCCIA, Claude, EL-MALKI, Karim e BELLIER, Ludovic, “Hierarchical MIPv6 mobility management (HMIPv6)”, draft-ietf-mobileip-hmipv6-04.txt, trabalho em andamento, Julho de 2001.
- [Tripathi98] TRIPATHI, Nishith D., REED Nortel Jeffrey H. e VanLANDINGHAM

- Hugh F., "Handoff in Cellular Systems", IEEE Personal Communications, Dezembro de 1998.
- [Weinmiller00] WEINMILLER, Jost, "Grouping wireless Picocells to build a Local Area Wireless Infrastructure", Tese submetida ao Technical University of Berlin, Department of Electrical Engineering, Abril de 2000.
- [Zhang01] ZANG, Tao, CHEN, Jyh-Cheng e AGRAWAL, Prathima, "IP-Based Base Stations and Soft Handoff in All-IP Wireless Networks", IEEE Personal Communications, Outubro de 2001.