

Wireless Personal Area Networks

Redes de Comunicações Móveis
2016/2017

Fábio Teixeira
Faculdade de Ciências da
Universidade do Porto
Email: up201305725@fc.up.pt

Vanessa Silva
Faculdade de Ciências da
Universidade do Porto
Email: up201305731@fc.up.pt

Abstract—Uma WPAN é uma coleção em rede de dispositivos situados dentro de um curto intervalo (10 metros é muitas vezes um raio de referência). Este tipo de rede serve geralmente para ligar periféricos (impressoras, telemóveis, aparelhos domésticos, etc.) ou permitir a ligação sem fios entre duas máquinas pouco distantes. Os baixos custos e consumos de energias e a utilização de pacotes de tamanho reduzido são alguns dos principais objetivos do projeto. Os sistemas WPAN usam links sem fios sem licença, pois esta é a única maneira de conseguir conectividade onipresente sem impacto adverso numa infraestrutura sem fios.

I. INTRODUÇÃO

O IEEE 802 Local and Metropolitan Area Network Standards Committee formou, em março de 1999, um Working Group com o intuito de desenvolver padrões de comunicação para redes de área pessoal sem fios. O grupo ficou designado por Project 802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks (WPANsTM) e visava abordar os requisitos que as WPANs necessitavam para possibilitarem comunicação entre dispositivos de computação.

AS WPANs são particularmente aplicáveis em cenários que exigem baixa taxa de transferência de dados, alcance limitado, baixo consumo de energia e em dispositivos fisicamente pequenos e de baixo custo.

Neste artigo, vamos analisar o estado da arte das WPANs e algumas das tecnologias associadas, nomeadamente, Bluetooth, IrDA e ZigBee. Este artigo está organizado da seguinte forma. Primeiramente apresentamos o conceito das WPAN, principais motivações e objetivo, na Secção II. Na Secção III apresentamos o funcionamento destas redes sem fio, assim como uma breve explicação do que são redes *Ad Hoc* e das tecnologias subjacentes, (Bluetooth, IrDA e ZigBee), apresentadas na Secção seguinte (IV). Nessa Secção é apresentada, para cada tecnologia, o seu funcionamento e requisitos. Por último apresentamos algumas conclusões sobre o trabalho de pesquisa realizado (Secção V).

II. CONCEITO, MOTIVAÇÃO, OBJETIVOS

A. Conceito

Uma *Wireless Personal Area Network* (WPAN) é uma rede de área pessoal (*Personal Area Network* (PAN)) que permite conectar dispositivos, (como PCs, PDAs, telemóveis e impressoras), centrados na área de uma pessoa (ou dispositivo pessoal), com base em conexões sem fio (*Wireless*). Deste

modo, WPAN forma uma "bolha" wireless em torno de uma "pessoa", conhecida como *Personal Operating Space* (POS) [1], esta pode, dinamicamente, expandir-se e contrair-se consoante as necessidades.

Além da conexão entre os dispositivos pessoais, que formam a bolha, WPANs devem fornecer ao utilizador uma conexão *ad hoc* (III-B) com os recursos e aplicações compatíveis que entram no seu POS [1]. Esta permite que os dispositivos pessoais se comuniquem com outros dispositivos em que a faixa de comunicação intercepta o seu POS.

O paradigma das comunicações tradicionais destina-se a estabelecer ligações de comunicação entre dispositivos, enquanto que as WPANs destinam-se a estabelecer comunicações entre pessoas, (dispositivos pessoais habilitados para comunicação), e recursos funcionais/dados através de um meio sem fio (substituindo o tradicional "cabo").

As WPANs são projetadas para operarem na banda mundial ISM (*Industrial, Scientific e Medical*) de 2,4 GHz. Esta banda proporciona disponibilidade geral em todo o mundo e adequação a soluções de rádio de baixo custo, baixo consumo de energia, curto alcance e não exige a necessidade de uma licença [2], [3].

B. Motivação

A motivação para tais redes vem da necessidade da troca de dados não só em grandes distâncias (que é tradicionalmente referida como comunicações), mas também entre pessoas que estão numa "conversação" de curta distância (normalmente até um limite de 10 metros), assim como da necessidade dessa troca de dados ser realizada em um meio sem fio.

C. Objetivos

Os principais objetivos das WPANs são [1]:

- Baixo consumo de energia - problema crítico, dado que a velocidade com que o desempenho da bateria melhora é bastante lenta, em comparação com o explosivo crescimento das comunicações sem fio;
- Operação no espectro não licenciado - WPANs usam ligações sem fio não licenciadas, uma vez que esta é a única forma de conseguirem conectividade onipresente sem impacto adverso em uma infraestrutura sem fio existente;
- Baixo custo;

- Pequeno tamanho de pacote.

III. FUNCIONAMENTO, HARDWARE

A. Funcionamento

Uma WPAN deve suportar as seguintes operações (inter-relacionadas) [1]:

- Descoberta de serviço - os dispositivos devem ter a capacidade de descobrir o recurso de serviço ou informação necessária;
- Estabelecimento de conexão *ad hoc* - os dispositivos devem ter a capacidade de estabelecer uma conexão *ad hoc* com o dispositivo que oferece esse serviço ou contém esse recurso.

A descoberta de serviço permite que um dado dispositivo tenha acesso ao serviço que está disponível dentro do seu intervalo de comunicação (POS). Por exemplo, um dado PDA, encontra uma impressora dentro do seu intervalo de comunicação, reconhece-o, (descoberta de serviço), como um recurso disponível (desde que certas condições de segurança sejam satisfeitas) e usa-o, (estabelecimento de conexão), como se a impressora fosse instalada no seu *software* [1].

B. Redes Ad Hoc

Uma rede *ad hoc* é um tipo de rede sem fio constituída por nós que cooperam entre si de forma a encaminharem pacotes na rede (determinam quando um nó pode transmitir e receber dados), sem a necessidade de uma infraestrutura de forma a que cada nó possa comunicar diretamente com outro nó [4], [5]. Esta comunicação (de um nó A para um nó B) só pode ser estabelecida se o nó B estiver dentro do raio de ação (loais onde o sinal chega com clareza) de A ou então, se existir um ou mais nós entre A e B que possam encaminhar os dados.

Em termos de roteamento, toda a rede é baseada na ideia de que os dispositivos funcionarem tanto como *routes* e como *hosts* [1].

C. Tecnologias Associadas

Existem várias tecnologias *standard* que fornecem conectividade sem fio em curtas distâncias. Destacamos as seguintes, **Bluetooth**, **IrDA**, **Zigbee**, **HomeRF** e **UWB**, onde analisamos apenas algumas destas, na secção (IV). Embora cada uma destas tecnologias tenha atingido aplicações e modelos de uso diferentes, o princípio por detrás de todas é a utilização de algum tipo de tecnologia de rádio subjacente, de forma a permitir a transmissão sem fio de dados e fornecer suporte para a formação de redes [1].

IV. MODELOS DE ARQUITETURA/*standard*

A. Bluetooth

O Bluetooth, também conhecido por IEEE 802.15.1, é um tipo de tecnologia WPAN sem fio, que estabelece uma comunicação de curta distância e baixo custo. Tem como objetivo o estabelecimento de conexões e troca de informação entre dispositivos, como telemóveis, computadores, impressoras, câmaras e até consolas de jogos, utilizando para isso uma frequência de rádio de curto alcance. Foi lançado em

1994 pela Ericsson, embora outras companhias como a Nokia, a IBM, a Intel e a Toshiba, formando um grupo chamado Bluetooth SIG (*Special Interest Group*), com o intuito de desenvolver, promover e expandir esta tecnologia. Nos dias de hoje, milhares de empresas já se juntaram ao grupo, entre elas estão nomes fortes como a Samsung, a Microsoft, entre outras [6].

Algumas das especificações desta tecnologia são [7]:

- Não requer linha de vista para funcionar, sendo capaz de comunicar através de barreiras físicas.
- Conta tipicamente com um alcance de 10 metros, embora este valor possa ser amplificado.
- Opera na faixa de licença-livre ISM a aproximadamente 2,45 GHz, com um débito máximo típico de 1 Mbps, que se estima que possa ser aumentado futuramente.
- Divide ainda a faixa de 2,45 GHz em 79 canais e muda de canal, (*Frequency-hopping spread spectrum* (FHSS)), cerca de 1600 vezes por segundo, de forma a evitar possíveis interferências com outros protocolos que usam a mesma faixa.

1) *Funcionamento*: O Bluetooth baseia-se numa camada física de saltos de frequência (FHSS), que permite que dispositivos portáteis formem redes *ad hoc* sem fio de curto alcance [4]. Os *hosts* Bluetooth não são capazes de comunicar a menos que se tenham previamente descoberto uns aos outros, através da sincronização dos seus padrões de tempo e frequência. Assim, mesmo que todos os nós estejam próximos uns dos outros, apenas os nós que estão sincronizados com o transmissor podem ouvir a transmissão.

O sistema de saltos de frequência, define vários canais para comunicação, sendo que cada canal é baseado numa sequência de salto de frequência diferente [4]. Assim, um grupo de dispositivos que compartilham um mesmo canal, (que se conectam de forma *ad hoc*), é chamado de *piconet*.

Cada *piconet* tem uma unidade **mestre** (*master*) que seleciona uma sequência de salto de frequência para o *piconet* e controla o acesso ao canal. Os outros participantes do grupo, conhecidos como unidades **escravos** (*slaves*), são sincronizados com a sequência de salto do *piconet master* [4].

Dentro de um *piconet*, o canal é compartilhado usando um *slotted Time Division Duplex* (TDD), em que um *master* usa um protocolo de pesquisa para alocar faixas horárias para os *slaves*. O número máximo de *slaves* que podem ser simultaneamente ativos num *piconet* é sete.

Quando os vários *piconets* são conectados, forma-se uma rede wireless chamada *scatternet*. Isto é possível, pois cada *piconet* utiliza uma sequência de salto diferente, o que faz com que múltiplos *piconets* possam coexistir numa área comum [4], uma vez que esta diferença reduz a interferência mútua a um nível aceitável [1]. Estes são então conectados através de uns nós especiais, chamados de nós ponte, que podem ser construídos entre dois *masters*, entre um *master* e um *slave* ou entre dois *slaves* [4].

Cenário real deste funcionamento seria uma impressora e um PC equipados com Bluetooth. Quando o PC chega ao alcance da impressora, esta dá-se a conhecer para que, quando

o usuário desejar imprimir um documento, os dois dispositivos possam iniciar imediatamente a transferência de dados. Enquanto isso, possivelmente, outros PCs, que terão chegado ao alcance destes dispositivos, se unirão à *piconet* estabelecida para que também possam usar a impressora quando necessário.

Dada uma coleção de dispositivos Bluetooth, é necessário um protocolo explícito de construção de topologia para formar *piconets*, atribuir *slaves* a *piconets* e conectar *piconets* através de nós ponte, de modo que o *scatternet* resultante fique conectado. Tal protocolo deve ser assíncrono, distribuído e pode começar com nós que não têm qualquer informação sobre o seu ambiente [4].

2) *Benefícios*: O consumo de cada transmissor Bluetooth é de aproximadamente 50 mA, dentro do limite de 10 metros, o que representa cerca de 3% do consumo total de um telemóvel, valor que é quase irrisório comparado com outras tecnologias sem fio. Este baixo consumo permite que os dispositivos venham já com a tecnologia de fábrica, sem comprometer a autonomia das baterias. Os *developers* do projeto depressa perceberam que muito mais seria possível fazer aproveitando a tecnologia do Bluetooth. Se transmitir informação entre um computador e uma impressora era uma realidade, também o poderia ser transmitir dados de um telemóvel para uma impressora, ou mesmo entre impressoras. E com o baixo custo de um chip Bluetooth (cerca de 5 euros) e o baixo consumo de energia da tecnologia [7].

3) *Classes e Versões*: Existem atualmente 3 classes da tecnologia, numeradas de 1 a 3. A classe 1 é a mais potente, permitindo consumos até 100 mW com um alcance de 100 metros. A classe 2, por seu lado, possibilita cerca de 2.5 mW de potência máxima, com um alcance de 10 metros. Já a classe 3 permite 1 mW de potência, transmitindo numa distância de cerca de 1 metro [6].

Recentemente foi lançado o Bluetooth 4, que traz vantagens no consumo de energia, velocidade e segurança, entre outros, relativamente às versões mais antigas. A versão 3 era até então a versão com maior taxa de transmissão, cerca de 24 Mbps, enquanto que as versões 2 e 1.2 se ficavam pelos 3 e 1 Mbps, respetivamente [6].

B. Infravermelhos - IrDA

Infrared Data Association, também conhecido por IrDA, é uma organização internacional que cria e promove padrões de conexão de dados de infravermelho (IR) de baixo custo e interoperáveis. Foi criada em 1993 por cerca de 50 empresas e possui um conjunto de protocolos de suporte a uma ampla gama de aparelhos de computação e dispositivos de comunicação. Estes protocolos são tipicamente destinados a fornecer altas velocidades, comunicação de curto alcance em linha de vista e transferência ponto-a-ponto de dados sem fios. Os protocolos IrDA utilizam o IrDA DATA como mecanismo de entrega de dados e o IrDA CONTROL como mecanismo de controlo [8].

A motivação original da IrDA visa essencialmente fornecer uma tecnologia que possa substituir a utilização de cabos, bem como de outros padrões PAN. A ideia é que dois dispositivos

possam comunicar simplesmente apontando-os um para o outro, o que tornaria a utilização de cabos completamente desnecessária.

Algumas especificações desta tecnologia são:

- Alcance de comunicação de até 1 metro, embora uma distância de 2 metros muitas vezes pode ser alcançada.
- Baixa potência para comunicação de até 20 centímetros. Isso requer 10 vezes menos energia do que a implementação completa.
- Comunicação bidirecional.
- Transmissão de dados de 9600 bps para uma velocidade máxima de 4 Mbps.

1) *Protocolos requeridos*: Uma pilha de protocolos IrDA é o conjunto de camadas de protocolos das comunicações IR ponto-a-ponto. Os protocolos de comunicação tratam de várias funcionalidades, e por isso são geralmente partidos em camadas. Cada uma destas camadas lida com um conjunto de responsabilidades e fornece recursos necessários para as camadas acima e abaixo [9].

As camadas necessárias para a pilha de protocolos IrDA são as seguintes:

- *Physical Layer*: especifica características óticas, codificação de dados e enquadramento para várias velocidades;
- *IrLAP (Link Access Protocol)*: estabelece a conexão confiável básica;
- *IrLMP (Link Management Protocol)*: multiplexa serviços e aplicativos na conexão LAP;
- *IAS (Information Access Service)*: fornece "páginas amarelas" de serviços num dispositivo.

A utilização das camadas opcionais depende da aplicação em particular. Os protocolos opcionais são:

- *TinyTP (Tiny Transport Protocol)*: adiciona controlo de fluxo por canal para manter as coisas em movimento sem problemas. Esta é uma função muito importante e é necessária em muitos casos;
- *IrOBEX (The Object Exchange Protocol)*: fácil transferência de arquivos e outros objetos de dados;
- *IrCOMM*: emulação de porta serial e paralela, permitindo que os aplicativos existentes que usam comunicações seriais e paralelas usem o IR sem alterações;
- *IrLAN (Local Area Network access)*: permite o acesso IR LAN sem fios para *laptops* e outros dispositivos.

2) *Benefícios*: Uma das principais vantagens da IrDA é o seu baixo custo. As portas de infravermelhos podem ser incorporadas num dispositivo por valores inferiores a 1 euro, o que representa um custo muito baixo para a implementação de comunicação sem fios num dispositivo, em comparação com outros padrões WPAN. Para além disto, proporcionam maior segurança e independência face às ondas de rádio e o facto de os dispositivos serem leves, consumirem pouco e serem fáceis de usar [10].

3) *Limitações*: O uso de IR para transferência de dados é uma excelente ideia, em teoria. No entanto, a tecnologia raramente é utilizada para satisfazer a sua intenção original,

ou seja, a transferência de dados. Pois RI requer que os dispositivos estejam linha de vista, o que pode ser um problema em vários cenários. Para além deste problema, o IR também peca pelo facto de os dispositivos não se poderem mover enquanto a transmissão está em progresso e pela ideia de que a maioria dos utilizadores não tem dois dispositivos com portas IR. Enquanto quase todos os dispositivos portáteis tem suporte para IrDA, a maioria dos *desktops* não, o que limita a eficácia da tecnologia como protocolo de transferência de dados [11].

C. IEEE 802.15.4 - ZigBee

O padrão de comunicação sem fio ZigBee baseia-se no padrão IEEE 802.15.4 LR-WPAN, e foi concebido de forma a possibilitar a interconexão de dispositivos sem fio simples (de frequência de rádio), que requerem baixa taxa de dados, baixa bateria e baixo custo [12], assim como, redes de eletrodomésticos, monitorização médica, controlo industrial e sensores ambientais.

Este padrão resulta da aliança entre o IEEE e a ZigBee Alliance, em que o primeiro ficou responsável pela criação das duas camadas mais baixas da pilha do protocolo ZigBee (camada **PHY** e **MAC**), e a segunda pelas camadas superiores (camada **Network** e **Application**) [13].

Numa rede ZigBee, cada nó pode ser de dois tipos, segundo o IEEE, dispositivo de função completa (*Full Function Device* (FFD)) ou dispositivo de função reduzida (*Reduced Function Device* (RFD)). O primeiro pode desempenhar três papéis específicos na rede, o de *router* (ou coordenador PAN), que têm acesso a todos os outros dispositivos, o papel de coordenador ou de dispositivo final. E os segundos, os RFDs, apenas podem desempenhar o papel de dispositivo final, podendo comunicar apenas com os FFDs, (ao contrário dos FFDs que podem comunicar com todos) [13],[14]. O coordenador é responsável por iniciar uma nova rede e, assim como os *routers*, podem realizar o encaminhamento de dados, ao contrário dos dispositivos finais que não podem participar no encaminhamento e têm de "confiar" nos seus *routers* pai [13].

1) *Funcionamento*: O esquema de funcionamento de uma rede ZigBee é a chave para se obter a eficiência de recursos pretendida (por exemplo, largura de banda e energia).

Com base nas camadas PHY e MAC, ZigBee estabelece o *framework* para as camadas *Network* e *Application* [13].

Na camada PHY, o IEEE 802.15.4 define um total de 27 canais, dos quais 16 apresentam uma taxa máxima de 250 kbps na banda ISM 2,4-2,4835 GHz, que utiliza modulação O-QPSK, 10 apresentam uma taxa máxima de 40 kbps na banda ISM 902-928 MHz, e 1 apresenta uma taxa máxima de 20 kbps na banda ISM 868,0-868,6 MHz, em que estas últimas utilizam modulação BPSK. Esta camada é responsável por permitir a transmissão de unidades de dados, através de ondas de rádio. Utiliza a modulação *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) que inclui em cada bit de dados um padrão de redundância, (permitindo, não só, que os dados sejam identificados como pertencentes a um determinado nó, como também facilita a deteção de erros), e os espalha pela largura de banda utilizada. Ao espalhar os dados em todas as frequências da banda, o sinal

resultante assemelha-se a um ruído, tornando-se mais robusto a interferências. Após ser feita a DSSS, o sinal é modulado em uma portadora e transmitido [13].

Na camada MAC, utiliza-se o *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA) e suporte para o modo *beacon* e *non-beacon* [13]. Esta camada é responsável pelo encapsulamento dos dados vindos das camadas superiores preparando-os para serem transmitidos.

Em modo *beacon* os *routers* (FFD) transmitem periodicamente *beacon frames*, (pequenos pacotes que confirmam a sua presença na rede), a outros dispositivos [15], [13], e todos os nós, à exceção do coordenador, podem permanecer inativos (*sleep*) entre *beacons* economizando energia. É utilizada a estrutura de *superframe* que promove banda livre em algumas situações e proporciona baixa latência nas transmissões. Esta é limitada por *beacon frames* a cada período de tempo pré-determinado e o tempo total será igualmente dividido em 16 *slots* de tempo. Após o *beacon*, é apresentado os tempos de acesso CAP (Contention Access Period), onde todos os dispositivos competem entre si utilizando CSMA-CA, e o tempo livre, CFP (Contention Free Period), que garante *slots* de tempo para cada dispositivo. Após isto, o dispositivo entra em modo inativo, economizando energia.

O CSMA-CA consiste em, quando um dispositivo pretende transmitir, primeiro ele "ouve" o canal durante um período de tempo pré-determinado, se o canal estiver livre o dispositivo pode transmitir, caso contrário o dispositivo faz um *backoff* de um período de tempo, reiniciando o processo após esse tempo.

Em modo *non-beacon* é utilizado o *unslotted* CSMA/CA que tem um tempo de espera aleatório, não dependente de *slots*, aqui os *routers* ZigBee normalmente têm seus recetores continuamente ativos, não permitindo economizar energia. Isto permite redes heterogêneas, nas quais alguns dispositivos recebem continuamente, enquanto outros transmitem apenas quando algum estímulo externo é detetado. Um exemplo de uma rede heterogênea é um interruptor de luz sem fio, em que o nó ZigBee na lâmpada recebe constantemente, uma vez que é conectado à rede elétrica, enquanto que um interruptor de luz alimentado por bateria permaneceria inativo (*sleep*) até que o interruptor é acionado, aqui acorda, emite um comando à lâmpada, recebe uma confirmação, e retorna ao estado inativo [16].

ZigBee pode ter uma das três topologias seguintes [14]:

- *Star* - a comunicação é estabelecida entre os dispositivos (FFDs e/ou RFDs) e um único controlador central (coordenador PAN). Depois que um FFD seja ativado pela primeira vez, ele pode estabelecer a sua própria rede tornando-se o coordenador PAN dela. Cada rede inicial escolhe um identificador PAN, que não é usado por nenhuma rede dentro da sua esfera de rádio. Isso permite que cada rede *star* opere de forma independente. Ideal para automação residencial, computadores pessoais, brinquedos e jogos.
- *Peer-to-peer* ou *Mesh* - também existe um coordenador PAN, mas aqui qualquer dispositivo pode-se comunicar com qualquer outro, desde que estejam no alcance rádio

um do outro. Ideal para aplicações como controle e monitorização industrial e redes de sensores sem fio.

- *Cluster-tree* - é um caso especial de uma rede *peer-to-peer*, aqui a maioria dos dispositivos são FFDs. Um RFD pode-se conectar a uma rede *cluster-tree* como um nó de saída no fim de uma ramificação e qualquer um dos FFDs pode atuar como coordenador e fornecer serviços de sincronização para outros dispositivos e coordenadores, mas apenas um desses coordenadores é o coordenador PAN. Este forma o primeiro *cluster* (sendo a cabeça de *cluster* (CLH)) e escolhe um identificador PAN não utilizado. Um dispositivo pode solicitar a adesão à rede ao CLH e se este permitir que o dispositivo se junte, ele irá adicioná-lo como um dispositivo filho na sua lista de vizinho e este adicionará o CLH como seu pai na sua lista de vizinhos e começará a transmitir *beacons* periódicos de modo que outros dispositivos possam aderir à rede nesse novo dispositivo. Uma vez satisfeitos os requisitos da rede, o coordenador PAN pode instruir um dispositivo a se tornar o CLH de um novo *cluster* adjacente ao primeiro.

V. CONCLUSÕES

Como as pessoas usam cada vez mais dispositivos eletrônicos em casa e no trabalho, e com a evolução da tecnologia envolvente, há uma clara necessidade de alcançar conectividade sem fios, o que tem provocado uma expansão bastante rápida das WPANs.

Dos três padrões WPAN estudados (Bluetooth, IrDA e ZigBee), o IrDA é o mais antigo e aquele que tem alcançado uma maior abrangência no mercado, com cerca de 300 milhões de dispositivos entregues aos consumidores. Ao mesmo tempo, é também o mais limitado, já que só permite comunicações até um máximo de 2 metros, exigindo ainda uma linha de vista entre os dois dispositivos.

A especificação Bluetooth (que tem gerado maior interesse na indústria da tecnologia) aborda esses problemas usando o espectro de 2,4 GHz não licenciado para comunicação, o que viabiliza a comunicação através de barreiras físicas, bem como maiores faixas, tipicamente até cerca de 10 metros. O Bluetooth também conquistou muita atenção da indústria, depois de mais de 2.000 empresas terem aderido ao Bluetooth SIG. Com o Bluetooth, as conexões através de cabos tenderão a desaparecer, o que evita o problema da interligação dos cabos de conexão, que muitas vezes não são compatíveis com certos equipamentos. A tecnologia direciona-se para um maior aproveitamento das capacidades de conectividade, podendo-se envolver todos os equipamentos de uma pequena área (fixos e móveis) para interagirem entre si [7]. Outra área de interesse é o alcance crescente que estas tecnologias podem abordar. Inicialmente, o Bluetooth visava um espaço de operação pessoal de 10 metros. Agora, com amplificação de potência, a gama estendeu-se até 100 metros.

ZigBee é um pouco semelhante ao Bluetooth, mas é mais simples, tem menor taxa de dados, pode ser implementado em redes *mesh* maiores do que é possível com o Bluetooth e passa a maior parte do seu tempo a "dormir", de forma a

economizar energia. O alcance operacional do ZigBee é de 10-75 metros em comparação com 10 metros para Bluetooth (sem amplificador de potência). No entanto, ZigBee perde para o Bluetooth em termos de taxa de dados, já que a taxa de dados no ZigBee é 250 kbps em 2.4 GHz, 40 kbps em 915 MHz e 20 kbps em 868 MHz enquanto que no Bluetooth é de 1 Mbps. O protocolo Bluetooth é mais complexo, uma vez que é voltado para o tratamento de voz, imagens e transferências de arquivos em redes *ad hoc*.

Em suma, não há um líder claro. Em muitos aspectos, o IrDA não é concorrente do Bluetooth ou do ZigBee, pois tenta tratar de uma necessidade do mercado distinta. A tecnologia IrDA está incluído em quase todos os dispositivos móveis, fornecendo uma maneira rápida e fácil para a transferência de dados de curto alcance confiável. Com os seus baixos custos de implementação, muitos dispositivos de baixo custo continuarão a suportar o IrDA, enquanto dispositivos mais avançados com necessidades sem fios mais robustas implementarão Bluetooth ou ZigBee.

REFERENCES

- [1] R. Prasad, *OFDM for wireless communications systems*. Artech House, 2004.
- [2] M. A. Marsan, C.-F. Chiasserini, A. Nucci, G. Carello, and L. De Giovanni, "Optimizing the topology of bluetooth wireless personal area networks," in *INFOCOM 2002. Twenty-first annual joint conference of the IEEE computer and communications societies. Proceedings. IEEE*, vol. 2. IEEE, 2002, pp. 572-579.
- [3] R. C. Braley, I. C. Gifford, and R. F. Heile, "Wireless personal area networks: an overview of the IEEE 802.15 working group," *Mobile Computing and Communications Review*, vol. 4, no. 1, pp. 26-33, 2000.
- [4] T. Salonidis, P. Bhagwat, L. Tassiulas, and R. LaMaire, "Distributed topology construction of bluetooth wireless personal area networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 23, no. 3, pp. 633-643, 2005.
- [5] M. G. Rubinstein and J. F. Rezende, "Qualidade de serviço em redes 802.11," *XX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC2002)*, 2002.
- [6] (2016, Dezembro) Bluetooth. [Online]. Available: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [7] C. Y. KOBAYASHI, "A tecnologia bluetooth e aplicações," *Computação Móvel-BBC-IME-USP*, 2004.
- [8] (2016, Dezembro) Infrared devices and drivers. [Online]. Available: <http://www.ericlindsay.com/computer/irda.htm>
- [9] P. J. Megowan, D. W. Suvak, and C. D. Knutson, "Irda infrared communications: An overview," *Counterpoint Systems Foundry, Inc*, 1996.
- [10] (2016, Dezembro) Advantages of irda — disadvantages of irda(infrared). [Online]. Available: <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/IrDA-advantages-and-disadvantages.html>
- [11] (2016, Dezembro) Wireless personal area networks (wpans). [Online]. Available: <http://etutorials.org/Mobile+devices/mobile+wireless+design/Part+One+Introduction+to+the+Mobile+and+Wireless+Landscape/Chapter+3+Wireless+Networks/Wireless+Personal+Area+Networks+WPANs/>
- [12] T. Kennedy and R. Hunt, "A review of wpan security: attacks and prevention," in *Proceedings of the international conference on mobile technology, applications, and systems*. ACM, 2008, p. 56.
- [13] N.-C. Liang, P.-C. Chen, T. Sun, G. Yang, L.-J. Chen, and M. Gerla, "Impact of node heterogeneity in zigbee mesh network routing," in *2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 1. IEEE, 2006, pp. 187-191.
- [14] C. E. Sinem, "Zigbee/ieee 802.15. 4 summary," 2004.
- [15] C. E. CIRILO, "Computação ubíqua: definição, princípios e tecnologias. 2007," 2014.
- [16] (2016, Dezembro) Zigbee. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee>