WPAN (Wireless Personal Area Networks) para monitorização de indicadores de saúde em ambulatório

Hugo Gomes, Marta Moreira, Telma Veloso

***Resumo*—Área recente e em franco crescimento, as Wireless Personal Area Networks (WPANs) permitem a comunicação sem fios entre dispositivos situados numa esfera de proximidade relativa, podendo ser aplicada à área médica e incluída na rotina de prestação de cuidados de saúde, nomeadamente no contexto da monitorização de indicadores fisiológicos em tempo real. De entre os vários padrões disponíveis para a implementação efectiva das WPANs, destacam-se o *Bluetooth* e o *Zigbee* por serem os mais utilizados no âmbito das aplicações médicas envolvidas especificamente nos cuidados em regime de ambulatório. Concluiu-se que esta tecnologia traz vantagens inegáveis à prática médica e à monitorização de parâmetros fisiológicos, pese embora se reconheça que existe ainda espaço para a evolução e a colmatação de determinadas lacunas que impedem, para já, que estes sistemas substituam integralmente os equipamentos utilizados na actualidade.**

***Index Terms*—Ambulatório, Bluetooth, Monitorização sem fios, Wireless Personal Area Network, Zigbee**

I. Introduction

OS sistemas de saúde enfrentam, actualmente e à escala global, o desafio do envelhecimento da população e do consequente aumento abrupto nos gastos. Neste sentido, torna-se necessário submeter estas estruturas a uma remodelação baseada na premissa de incentivar uma gestão centrada na prevenção e na detecção precoce da doença, pelo que os sistemas *wearable* aplicados à monitorização contínua de indicadores de saúde representam um elemento chave na obtenção da desejada sustentabilidade. Estes sistemas permitem que um indivíduo mantenha sob vigilância quaisquer alterações nos seus sinais vitais, promovendo a derivação de *feedback* capaz de garantir a manutenção de um estado de saúde óptimo, e, quando aliados à telemedicina, possibilitam a emissão de alertas directamente direccionados a profissionais de saúde habilitados a avaliar possíveis alterações que possam pôr em risco a vida do indivíduo. Adicionalmente, esta tecnologia pode ser empregue na monitorização contínua a longo prazo, por exemplo, como parte integrante de um diagnóstico ou acompanhamento pós-cirúrgico, visto que viabiliza a captação de variações diurnas e circadianas nos sinais fisiológicos em análise. Recentemente, com os avanços tecnológicos nas áreas da integração e miniaturização de componentes electrónicos, da microfabricação e da engenharia de redes, verificou-se uma motivação e interesse acrescidos na utilização de sistemas *wireless* no âmbito das aplicações médicas, contando que estes apresentam sérias vantagens relativamente às alternativas tradicionais, como sejam a facilidade de uso, o risco reduzido de infecção, a melhoria de mobilidade e a redução do desconforto causado no paciente [1]. Uma demonstração prática da efectividade e premência da banalização dos sistemas *wireless* de monitorização contínua consiste na assistência em caso de paragem cardíaca: de acordo com a *American Heart Association*, o tratamento eficaz de um paciente nestas circunstâncias nos primeiros 12 minutos após o episódio assegura uma taxa de sobrevivência de entre 48 a 75%, sendo que esta decresce para 2 a 4% passado este período; a monitorização nos moldes explicitados permite manter sob controlo informações como a pressão arterial e o ritmo cardíaco do paciente, possibilitando ainda o envio instantâneo de um electrocardiograma para entidades médicas especializadas, o que veicula não só a possibilidade de detecção precoce como a garantia de que o tratamento adequado é aplicado atempadamente àquele caso específico [1][2].

A. Bluetooth

A obtenção da desejada mobilidade inerente à prestação dos cuidados de saúde pode ser obtida integrando tecnologias como as *Wireless Personal Area Networks* (WPAN), sendo que interessa, neste caso em particular, contemplar a sua integração no contexto das aplicações críticas em tempo real - que incluem a monitorização remota das funções fisiológicas de um paciente em regime de ambulatório. Este tipo de aplicações contemplam, tipicamente, o acesso contínuo a uma largura de banda relativamente reduzida (entre 10 a 100 kb/s) e uma elevada sensibilidade ao *delay* ($<$ 300 ms) e à perda de dados, devendo ainda assegurar uma mobilidade eficiente, de forma a prevenir a perda de dados em situações de movimentação ou recolocação do paciente [3]. Assim, considerando um ambiente em que se pretende monitorizar indicadores de saúde específicos como, por exemplo, os parâmetros vitais - pulso cardíaco ou frequência cardíaca, temperatura e pressão arterial -, os sensores utilizados para adquirir os dados junto do paciente, idealmente pequenos e de baixa potência, podem ser interconectados através de *wireless*, enviando os respectivos dados para um dispositivo monitor que medeia a sua transmissão à rede integrada. Tipicamente, uma WPAN recorre a tecnologias que permitem comunicações de pequeno alcance entre um conjunto de dispositivos que se encontrem nas proximidades do paciente, de entre as quais se destacam o *Bluetooth* (IEEE 802.15) e o *Zigbee* (IEEE 802.15.4), devendo assegurar o conceito de *plugging in* - que dita que dois dispositivos configurados nestes parâmetros e que

se encontrem relativamente próximos podem comunicar como se estivessem ligados por um cabo - e o bloqueio de dispositivos específicos, de modo a evitar quaisquer interferências ou acesso não autorizados aos dados [3][4]. No caso específico da utilização das WPAN em contexto de ambulatório, urge apenas referenciar as *Low-Rate* WPAN (LR-WPAN), que vão ao encontro das especificidades anteriormente definidas para as aplicações em questão.

As WPAN com recurso à tecnologia de *Bluetooth* (BT-WPAN) são tipicamente utilizadas no sentido de transformar dispositivos isolados que se encontrem num raio aproximado de 10 metros em equipamento de rede. O processo envolve a organização dos nós da rede em estruturas denominadas de *piconets*, individualmente compostas por um dispositivo *master* e até sete dispositivos *slave* que apenas estão habilitados a comunicar com o *master*. A dinâmica do conjunto baseia-se na ideia de que cada *piconet* utiliza uma sequência de saltos de frequência derivada do endereço do *master*, sendo que este e os *slaves* enviam e recebem tráfego alternadamente (Fig. 1) - embora, logicamente, o *master* esteja sujeite a cargas superiores e, consequentemente, a um maior consumo de energia-, no sentido de assegurar conexões *full-duplex*. Cada unidade do conjunto pode integrar um ou mais *piconets* sobrepostos, com a particularidade de só poder desempenhar funções de *master* num deles, podendo ainda comportar-se como *bridge* e, assim, permitir aos *piconets* a formação de uma rede mais ampla, denominada de *scatternet*. Devido ao recurso a diferentes saltos de frequência, cada *bridge* não poderá exercer a sua actividade em mais do que um *piconet* em simultâneo, pelo que se torna necessário recorrer a um *switch* baseado na divisão de tempo que assegure, ainda, a re-sincronização com o *piconet* actual, o que conduz à introdução de um *overhead* significativo e, consequentemente, ao possível comprometimento da *performance* do sistema. A forma como os nós da rede estão organizados (Fig. 2) em *piconets* e aqueles que são destacados como *masters* ou *bridges* condiciona fortemente a capacidade e o débito do sistema, bem como a duração da bateria de cada uma das unidades que o compõem, pelo que se torna vital conhecer a topologia que optimiza a *performance* do BT-WPAN [5].

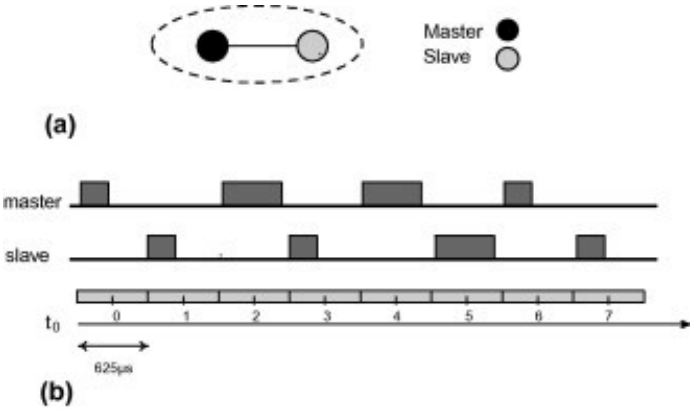

Figura 1. **(a)** *Piconet* bi-nodal com um dispositivo *master* e um dispositivo *slave*. **(b)** Transmissão de pacotes entre o *master* e o *slave* num canal FH TDD.

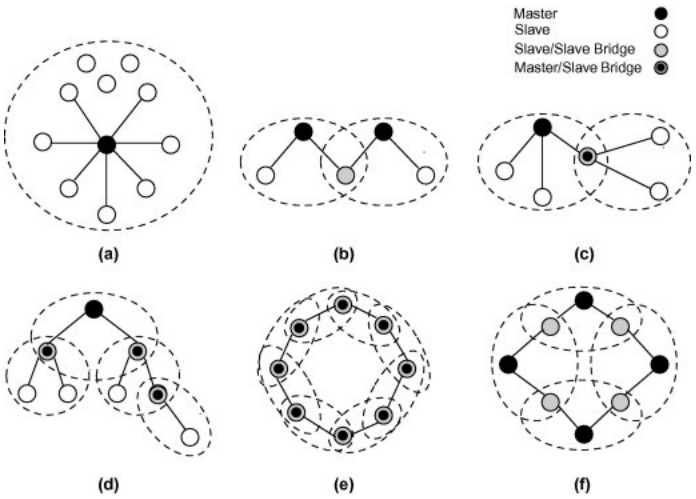

Figura 2. Modelos de topologia *scatternet*. **(a)** Single Piconet Model (SPM). **(b)** Slave/Slave Mesh (SSM). **(c)** Master/Slave Mesh (MSM). **(d)** Tree Hierarchy (TH). **(e)** Master/Slave Ring (MSR). **(f)** Slave/Slave Ring (SSR).

B. Zigbee

O padrão *ZigBee* (IEEE 802.15.4), por sua vez, foi desenvolvido com o intuito de proporcionar custos diminuídos e flexibilidade relativamente aos dispositivos que podem ser controlados, tendo sido projectado de forma a suportar aplicações com o mínimo consumo energético possível. Numa rede que integre este padrão, é possível encontrar dois tipos de dispositivos: *Full Function Device* (FFD) e *Reduced Function Device* (RFD). Os FFD, de construção comparativamente mais complexa, podem funcionar em qualquer topologia, desempenhando a função de coordenador de rede, e apresentam, consequentemente, acesso aos restantes dispositivos da rede. Por outro lado, os RFD encontram-se apenas habilitados a interagir com o coordenador de rede e o seu funcionamento está limitado à topologia em estrela (Fig. 3), sendo natural que a sua construção seja mais simples. Estes dispositivos distinguem-se, naturalmente, quanto às funcionalidades que desempenham no âmbito de um sistema, e a sua operação oscila entre estados de actividade e latência, operando os FFD, tipicamente, no estado activo e permanecendo os RFD em estado latente durante longos períodos de tempo, durante os quais não efectuam quaisquer transmissões de dados.

C. Bluetooth vs. Zigbee

Da contraposição dos padrões *ZigBee* e *Bluetooth*, depreende-se que o primeiro apresenta uma maior simplicidade, aliada a uma menor taxa de transferência de dados e a uma autonomia substancialmente superior, já que, devido ao facto de passar a maior parte do tempo adormecido, um nó na rede *ZigBee* apresenta funcionalidade entre seis meses a dois anos com apenas duas pilhas AA, apresentando ainda a característica de ser capaz de fazer a transição entre o estado latente e a actividade em apenas 15 milisegundos, contrariamente aos 3 segundos necessários no caso do *Bluetooth*. Se considerarmos a inexistência de amplificadores de potência, a abrangência operacional do *ZigBee* - entre 10 a 75 metros - ultrapassa também a do

Bluetooth - 10 metros. Porém, no que concerne a transferência de dados, o *Bluetooth* destaca-se de forma evidente, sendo que, para a gama de operação isenta de licenças de utilização (2.4 GHz), apresenta uma taxa de transferência de 1Mbps, contra os 250 kbps do *ZigBee*.

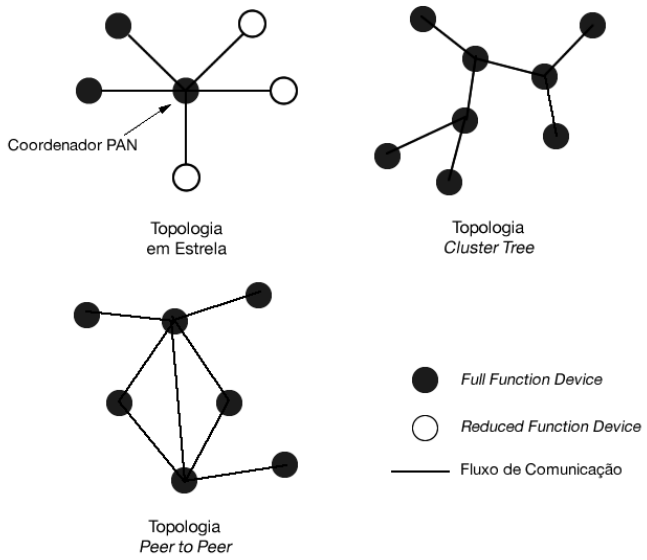

Figura 3. Modelos de topologia Zigbee.

II. Estado da Arte

As tecnologias que integram WPANs representam uma área ainda em estado embrionário, mas que apresenta um potencial e uma capacidade de evolução exponenciais, sendo que a sua implementação nas mais variadas áreas - entre as quais a área das aplicações médicas - depende ainda do preenchimento de determinadas lacunas, no sentido de que, num futuro próximo, seja possível a substituição integral das tecnologias actualmente utilizadas, sem que se comprometam os parâmetros de qualidade, segurança e fiabilidade especificamente inerentes à prática médica. O despertar do interesse na possibilidade de integração de sistemas *wireless* na prestação dos cuidados de saúde remonta a 2004, altura em que se começaram a questionar assuntos como a falibilidade dos sistemas de cabos - associados a evidentes deficiências como a susceptibilidade a falhas na corrente eléctrica e avarias - e se apontou a tecnologia *Bluetooth* como uma possível solução para os problemas dos equipamentos utilizados até então no âmbito da monitorização em regime de ambulatório [6].

Nos últimos anos, tem sido particularmente observável um desenvolvimento considerável no que diz respeito à construção de equipamentos médicos com base em tecnologias *wireless*, não tanto devido a questões de procura de alternativas às soluções existentes, mas mais por se ter tornado quase um requisito desejável na nova geração de equipamentos. Constam já da literatura diversos projectos relevantes nesta área, como seja o desenvolvimento de sistemas de monitorização de sinais fisiológicos em ambulatório desprovidos de quaisquer cabos de ligação, capazes de monitorizar simultaneamente a totalidade dos parâmetros referidos recorrendo apenas a um sensor *Bluetooth* e que podem ser facilmente adaptados a qualquer outro conjunto de indicadores fisiológicos [7]. Recentemente, no ano de 2009, verificou-se o desenvolvimento de um sistema de monitorização electrocardiográfico portátil com recurso à tecnologia de *Bluetooth* direccionado à utilização específica em regime de ambulatório, equipamento que demonstrou ser capaz de realizar a monitorização efectiva e em tempo real (assim como o diagnóstico), permitindo, desta forma, antever o enorme potencial da aplicação de equipamentos remotos em larga escala no âmbito da prestação de cuidados de saúde [8].

A. Análise Crítica

Pese embora as tecnologias WPAN aplicadas ao cenário específico da monitorização de indicadores de saúde em regime de ambulatório logrem, em certa medida, suprir as necessidades de um ambiente integrado de suporte a aplicações médicas e não-médicas, a descontextualização que a envolvência da saúde e da vida humana implicam acarreta desafios adicionais que não são, normalmente, contemplados nas aplicações genéricas destas tecnologias, como sejam a garantia de elevados graus de confiança e segurança, de disponibilidade de serviço e de minimização da perda de dados [3]. Neste contexto, tornam-se relevantes não só os padrões inerentes à construção das referidas redes, mas também as características dos dispositivos móveis que as compõem, que devem apresentar características como a vestibilidade, confiabilidade, segurança e interoperabilidade, no sentido de proporcionar uma monitorização não invasiva e a aumentar o nível de conforto do paciente. Assim, o acompanhamento de eventuais avanços em áreas paralelas como a da miniaturização revelam-se igualmente importantes no âmbito desta problemática, devendo os dispositivos utilizados possuir uma forte componente especificamente direccionada ao tipo de monitorização que se pretende abordar, nomeadamente características de manuseamento que, numa realidade como a do regime de ambulatório que envolve um fluxo acentuado de pacientes, sejam facilmente aplicados e removidos sem que, em altura alguma, se comprometa a qualidade e exactidão dos resultados obtidos. Esta mobilidade é efectivamente conseguida por intermédio das tecnologias *wireless*, que se afiguram numa posição de óbvia vantagem devido à inexistência de cabos e, por essa mesma razão, elevam significativamente a eficiência técnica dos cuidados prestados [9]. Na conjuntura actual dos sistemas de saúde, o incentivo à substituição das tecnologias existentes por tecnologias como as descritas até este ponto prende-se ainda com o facto de o crescimento populacional requerer uma renovação da abordagem à prestação dos cuidados de saúde, tendo em vista uma maior eficiência e o balanceamento sustentável das despesas [10].

Existem, porém, alguns inconvenientes associados à aplicação destas tecnologias, de entre os quais se destacam o aumento da probabilidade de perda de dados e a possibilidade de existência de *delays* significativos que prejudiquem e dificultem consideravelmente a monitorização em tempo real de parâmetros como os indicadores básicos de saúde. A

qualidade do serviço que se pretende inerente aos sistemas desenvolvidos com base nos padrões WPAN impõe expressamente que a perda de dados seja intolerável, já que não existe qualquer possibilidade de recuperá-los e um acontecimento nesses termos representaria sempre deficiências ao nível da eficácia e credibilidade da monitorização, consequentemente responsáveis por potenciais falhas de diagnóstico de quaisquer anomalias registadas no estado de saúde do paciente [3]. Ainda relativamente à qualidade do serviço, a integração das WPAN em regime de ambulatório implica que equipamentos médicos com elevados parâmetros de *QoS* tenham de partilhar o mesmo meio *wireless* - e, muito possivelmente, o mesmo protocolo de rede - com aplicações de cariz não-médico, o que pode constituir um impedimento, na medida em que um dado protocolo direccionado a aplicações não-médicas poderá não fornecer a qualidade de serviço requerida pelas aplicações médicas (e vice-versa) [3]. Um outro aspecto relevante que poderá influenciar negativamente a implementação destas tecnologias diz respeito à utilização de baterias como fonte de alimentação dos dispositivos, em detrimento da corrente eléctrica convencional, o que, por um lado, se traduz beneficamente numa menor interferência nos dados monitorizados mas, por outro, acarreta uma série de questões problemáticas, entre as quais uma maior taxa de perda de pacotes, a diminuição do alcance da transmissão de dados, menores taxas de modulação e a presença de interferência *multipath*, derivada do facto de diversos equipamentos electrónicos coexistirem num mesmo espaço limitado [3][11].

Standard - Tecnologia *Wireless*	Vantagens e oportunidades relevantes para ambientes médicos	Principais dificuldades relativas a aplicações médicas
WPAN 802.15.1/ Bluetooth	• Tecnologia de baixa potência e baixo custo para comunicações de baixo alcance; • Consegue suportar comunicações por voz e aplicações de monitorização;	• QoS oferecida a aplicações médicas; • Partilha com outras tecnologias na mesma banda ISM; • Segurança;
Low data rate WPAN 802.15.4/Zigbee	• Solução de baixa potência e baixo custo para monitorização e aplicações de controlo remoto;	• QoS oferecida a aplicações médicas; • Partilha com outras tecnologias na mesma banda ISM;

Figura 4. Tecnologias *wireless* exploradas e respectivas problemáticas relevantes no âmbito das aplicações médicas.

REFERÊNCIAS

[1] Ar Milenkovic, Chris Otto, and Emil Jovanov. Wireless sensor networks for personal health monitoring: Issues and an implementation. *Computer Communications (Special issue: Wireless Sensor Networks: Performance, Reliability, Security, and Beyond*, 29:2521–2533, 2006.

[2] Tam Vu Ngoc. Medical applications of wireless networks. 2008.

[3] Amjad Soomro and Dave Cavalcanti. Opportunities and challenges in using wpan and wlan technologies in medical environments [accepted from open call]. *Communications Magazine, IEEE*, 45(2):114 –122, feb. 2007.

[4] J. Gutiérrez. *Business data communications and networking: a research perspective*. Idea Group Publishing, Hershey, 2007.

[5] M. Ajmone Marsan, C.F. Chiasserini, A. Nucci, G. Carello, L. De Giovanni, and Luigi De Giovanni. Optimizing the topology of bluetooth wireless personal area networks. In *In INFOCOM*, pages 572–579, 2002.

[6] Zhi Zhang and Ping Liu. Application of bluetooth technology in ambulatory wireless medical monitoring. In *Microwave and Millimeter Wave Technology, 2004. ICMMT 4th International Conference on, Proceedings*, pages 974 – 977, aug. 2004.

[7] K. Ma, J.C.T. Khoo, and T.I.H. Brown. Development of an ambulatory multi-parameter monitoring system for physiological stress related parameters. In *Bioinformatics and Biomedical Technology (ICBBT), 2010 International Conference on*, pages 324 –328, april 2010.

[8] Hu Jun-da, Ye Wei, and Zou Wen bin. Portable ambulatory electrocardiogram monitoring system based on bluetooth. In *Networking and Digital Society, 2009. ICNDS '09. International Conference on*, volume 2, pages 72 –74, may 2009.

[9] Yuanlong Liu and R. Sahandi. Zigbee network for remote patient monitoring on general hospital wards. In *Information, Communication and Automation Technologies, 2009. ICAT 2009. XXII International Symposium on*, pages 1 –7, oct. 2009.

[10] Mehmet R. Yuce. Implementation of wireless body area networks for healthcare systems. *Sensors and Actuators A: Physical*, 162(1):116 – 129, 2010.

[11] K. Takizawa, Huan-Bang Li, K. Hamaguchi, and R. Kohno. Wireless patient monitoring using ieee802.15.4a wpan. In *Ultra-Wideband, 2007. ICUWB 2007. IEEE International Conference on*, pages 235 –240, sept. 2007.