

Monitorização Vital e Ambiental para Grupos de Pacientes recorrendo a Redes de Sensores

David Ferraz, José Manuel Torres, Pedro Sobral, Rui Silva Moreira
Intelligent Sensing and Ubiquitous Systems (ISUS) - Faculdade Ciência e Tecnologia
Universidade Fernando Pessoa (UFP)
Porto, Portugal
{dferraz, jtorres, pmsobral, rmoreira}@ufp.edu.pt

Resumo — O crescente envelhecimento da população cria uma enorme pressão sobre os sistemas de saúde, os ambientes hospitalares bem como sobre os centros geriátricos ou mesmo as residências actuais. Estes ambientes estão, normalmente, mal preparados para a monitorização e assistência vital aos seus utentes, obrigando à existência de equipas especializadas e multidisciplinares em permanência. Torna-se cada vez mais importante o desenvolvimento de sistemas de monitorização remota de sinais vitais e dos contextos ambientais, tanto para otimizar os custos de funcionamento quotidianos como também para melhorar a qualidade de vida e segurança dos utentes destes espaços. Assim, neste artigo propõe-se um sistema baseado em redes de sensores sem fios, para facilitar a criação de espaços inteligentes e colmatar alguns dos problemas colocados. Todos os residentes usam um módulo sensorial corporal ligado em malha por ZigBee. Um módulo coordenador (*gateway* XBee/GPRS) recolhe alertas e dados vitais ou de contexto e transmite-os para um servidor remoto que os armazena; estes dados poderão posteriormente ser processados estatisticamente e analisados por vários especialistas com acesso a uma simples página *Web*.

Palavras Chave - Monitorização vital, redes de sensores sem fios, redes em malha, ZigBee, gateway GPRS.

I. INTRODUÇÃO

A elevada taxa de crescimento da faixa de população com necessidades de cuidados médicos em ambulatório e assistência domiciliária, potencia a necessidade de multiplicação de espaços inteligentes com capacidade para monitorização e assistência remotas à população. Contudo, a criação de espaços inteligentes nos actuais ambientes residenciais ou de saúde é um processo difícil e variável de acordo com a estrutura e condições dos edifícios existentes. Neste contexto, as redes de sensores sem fios podem desempenhar um papel importante na criação de espaços inteligentes uma vez que facilitam a instalação e utilização de sistemas sensoriais inteligentes e ubíquos nos actuais ambientes hospitalares e residenciais. Este tipo de redes oferece uma elevada flexibilidade, reduzindo significativamente o esforço de instalação e manutenção, tornando-se por isso uma mais-valia nestes ambientes heterogéneos. As tecnologias de suporte às redes de sensores sem fios têm evoluído muito rapidamente, abrindo um leque enorme de domínios de aplicação em que podem vir a ser exploradas, tais como:

- Aplicações ambientais: utilização de motes sensores para recolher parâmetros ambientais e monitorizar o estado de um determinado ecossistema;
- Aplicações militares: procurar vantagens estratégicas no âmbito de cenários de combate;
- Aplicações na área da saúde: utilização de sensores para monitorizar o estado de pessoas (e.g., sinais vitais, estado ou actividade, etc. [1]).

A utilização de sistemas de monitorização remotos evita a presença de equipas especializadas e permanentes nos locais supervisionados. Permitem ainda a recolha e transmissão automática do contexto ambiental e corporal, de várias instituições e vários indivíduos, para centros especializados onde se podem armazenar, comparar, correlacionar e analisar, por diferentes especialistas. Desta forma pode-se aumentar significativamente a escalabilidade dos sistemas monitorizados, diminuir o número de especialistas envolvidos e os respectivos encargos; pode-se ainda melhorar a eficiência das equipas de assistência, que de outro modo seriam insuficientes para apoiar toda a população necessitada.

Este artigo estende o trabalho anteriormente desenvolvido [1] no âmbito da monitorização corporal de pessoas em ambientes residenciais. Propõe-se aqui complementar este trabalho com a utilização de redes de sensores inteligentes, capazes de monitorizar periodicamente diversos ambientes e vários indivíduos, recolhendo e transmitindo os dados para centros especializado. Estes sistemas permitirão analisar os dados recolhidos, otimizar os encargos e personalizar o tipo de assistência a prestar às populações (e.g., adaptar activamente os cuidados de saúde, os fármacos, o socorro às condições de alarme, etc.) [2]. Poderão levantar-se problemas relacionados com a segurança e privacidade dos utilizadores. Estes problemas estão contudo fora do âmbito deste projecto que se foca na criação de uma plataforma baseada numa rede de sensores sem fios em malha. O protótipo desenvolvido baseia-se em motes assentes em microcontroladores e sensores de baixo custo, que permitem monitorizar vários parâmetros fisiológicos (e.g., temperatura, batimento cardíaco, etc.) e ambientais (e.g., luminosidade, temperatura, etc.). Todos os dados recolhidos são transmitidos (cf. ZigBee) para um coordenador/gateway que faz a ponte, via GPRS (*General Packet Radio Service*), para um servidor central. Este sistema

facilita a instalação dos motes ambientais e a mobilidade dos utilizadores, oferecendo uma arquitectura dinâmica e adaptável a várias condições, espaços e cenários de aplicação.

Este artigo encontra-se estruturado em 5 secções: na introdução contextualiza-se a pertinência do trabalho desenvolvido; no estado da arte descreve-se as principais tecnologias utilizadas no desenvolvimento deste projecto e a sua relação com sistemas afins; na arquitectura do sistema, descrevem-se os módulos e as principais funcionalidades do protótipo criado assim como o hardware utilizado; na avaliação, descrevem-se os testes efectuados até ao momento; na conclusão evidencia-se a importância do trabalho efectuado.

II. ESTADO DA ARTE

A. Redes de sensores sem fios

Cada vez se torna mais desejável, ou mesmo imperativo, criar sistemas inteligentes sensíveis ao contexto, para simplificar e melhorar o dia-a-dia das pessoas. Uma componente importante desses sistemas consiste em monitorizar os mais variados parâmetros do ambiente em que vivemos e interpretar essa informação de forma clara e precisa.

As redes de sensores sem fios desempenham um papel de importância crescente neste tipo de cenários. Estas redes consistem, tipicamente, num elevado número de nós sensores com capacidade de comunicação sem fios, espalhados no local a monitorizar e que pode ser, eventualmente, uma área de difícil acesso, de risco vital ou mesmo um ambiente sem infra-estruturas no qual se pretendem embeber capacidades de monitorização. Em suma, uma rede de sensores sem fios permite agilizar a criação de espaços inteligentes onde, cada nó sensor, possui capacidades para perceber o seu meio envolvente, processar e comunicar a informação recolhida [3].

Características como a flexibilidade, a tolerância a falhas, a fiabilidade, o baixo custo e a rapidez de implementação das redes de sensores sem fios, fazem com que se abra um vasto leque de áreas de aplicação para este tipo de redes como, por exemplo, a monitorização ambiental e corporal, o controlo industrial, aplicações militares, etc. Muita da investigação existente na área das redes de sensores sem fios baseia-se na aplicação de uma arquitectura de rede denominada *flat architecture*, em que todos os nós sensores são homogéneos [3].

B. Redes de sensores sem fios em malha

Numa rede de sensores sem fios, em malha, cada nó da rede pode cumprir simultaneamente dois papéis: nó sensor (*end node*) e nó encaminhador (*router node*). A rede pode ainda ter um nó coordenador (*gateway*) responsável pela interligação com outras redes ou sistemas. Os nós sensores recolhem dados de monitorização, periodicamente ou em contínuo. Os nós encaminhadores conduzem a informação recebida para os respectivos coordenadores. Os nós *gateway* e *routers* organizam-se automaticamente numa rede sem fios em malha, para transmissões de longo alcance, de forma a interligar a rede de sensores[4].

Uma rede de sensores sem fios em malha apresenta várias vantagens (cf. flexibilidade, versatilidade e robustez) em comparação com soluções mais estáticas, evitando a utilização de infra-estruturas pré-instaladas de encaminhamento.

C. Trabalho Relacionado

Em [5] os autores apresentam uma abordagem similar ao trabalho aqui proposto, sugerindo igualmente uma gateway ZigBee/GPRS cuja arquitectura se baseia no microprocessador S3C2410. Este trabalho faz a ponte entre as comunicações de curto alcance (ZigBee) e as comunicações de longa distância (GPRS) permitindo, através da Internet, visualizar os dados da rede de sensores. Os autores enfatizam a aplicação desta arquitectura a muitos domínios de aplicação.

Noutro projecto são descritas várias aplicações de redes sem fios e equipamentos electrónicos domésticos com foco na monitorização remota aplicada à área da saúde [6]. Por exemplo, os autores descrevem uma rede de sensores sem fios para monitorização de parâmetros através da roupa, i.e., de peças de vestuário que integram sensores que recolhem todo o tipo de parâmetros corporais, podendo assim detectar em tempo real alguma anomalia vital.

A monitorização ambulatória de parâmetros vitais é uma área de importância crescente de aplicação de redes sem fios [7]. Neste projecto os autores referem que o aparecimento de novas tecnologias e a redução de preços, torna cada vez mais apetecível a aplicação de redes de sensores em casa, reduzindo desta forma o número idas ao hospital. Neste artigo, são apresentados diversos protótipos como, por exemplo, a monitorização de crianças e/ou do sistema cardíaco humano.

Um denominador comum a todos estes projectos consiste na utilização de redes de sensores sem fios para monitorização de parâmetros de saúde, oferecendo melhorias na interacção entre os pacientes e os médicos, e permitindo uma redução de custos nos cuidados de saúde.

III. ARQUITECTURA DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

No desenho do sistema foi privilegiado o uso de hardware de baixo custo e de ferramentas de software livre e/ou aberto (*open source*). O sistema aqui apresentado estende o trabalho desenvolvido em [1] de forma a criar uma ferramenta descentralizada, ágil e não invasiva de acompanhamento dos sinais vitais de múltiplos pacientes.

A. Hardware utilizado

Os módulos de recolha e processamento de dados utilizam sistemas Arduino. No módulo ambiental utiliza-se a Arduino Diecimila que possui: um microcontrolador ATmega168 com 16 KB de memória flash, para armazenamento de código; 1 KB de SRAM e 512 bytes de EEPROM; diversas entradas/saídas analógicas e digitais que possibilitam a aquisição de dados de diferentes tipos de sensores, bem como o comando de diversos tipos de actuadores. A Diecimila possui ainda uma ligação USB pela qual é efectuada a ligação série ao ambiente de programação, muito conveniente na fase de desenvolvimento do protótipo inicial. Este sistema será posteriormente substituído pelo Arduino Nano que possui potencialidades equivalentes mas com uma fracção do tamanho. A sua

miniaturização possibilitou o seu uso no módulo corporal descrito em [1]. Por fim, no módulo de interligação com a Internet (*gateway*), foi usado o Arduino Mega cujo microcontrolador possui maior capacidade de processamento (ATmega1280) mais memória (128KB flash, 8KB de SRAM e 4KB EEPROM) e quatro portas série, necessárias para as tarefas de encaminhamento.

Toda a comunicação no sistema é feita sem fios. Esta característica é fundamental para a usabilidade e conveniência do dispositivo corporal mas é também muito vantajosa para a colocação dos restantes dispositivos, por não exigir infra-estruturas especiais nos locais de instalação.

A comunicação de dados entre os dispositivos do sistema é efectuada usando tecnologia ZigBee. Esta tecnologia está direccionada para aplicações, que requerem pouca largura de banda e exigem baixo consumo energético. Actualmente é utilizado para dispositivos de controlo industrial, dispositivos médicos, alarmes de detecção de movimento e domótica. O ZigBee usa a norma IEEE 802.15.4 *Low-Rate Wireless Personal Area Network* (WPAN). O protocolo de acesso utilizado é o *Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance* (CSMA/CA), que reduz significativamente o número de colisões no acesso ao meio de transmissão. Neste sistema foram usados módulos XBee (XBee-PRO® ZNet 2.5 OEM RF Module) desenvolvidos pela DIGI.

Para o acesso à Internet usa-se uma ligação GPRS, um serviço de comunicações sem fios baseado em pacotes, que funciona com taxas de transferência entre 56 Kbps e 114 Kbps. Mais uma vez, a ubiquidade desta tecnologia facilita a implantação do sistema em instalações sem nenhum meio de ligação à Internet. Para este efeito foi usado um módulo GSM/GPRS, compatível com as placas de desenvolvimento Arduino, que foi desenvolvido pela LIBELIUM e que contém um rádio SAGEM. A recolha de dados é feita através de vários sensores, e.g., de temperatura, luminosidade e aceleração 3D.

B. Módulos do sistema

A figura 1 apresenta um diagrama de referência dos módulos que compõe o sistema.

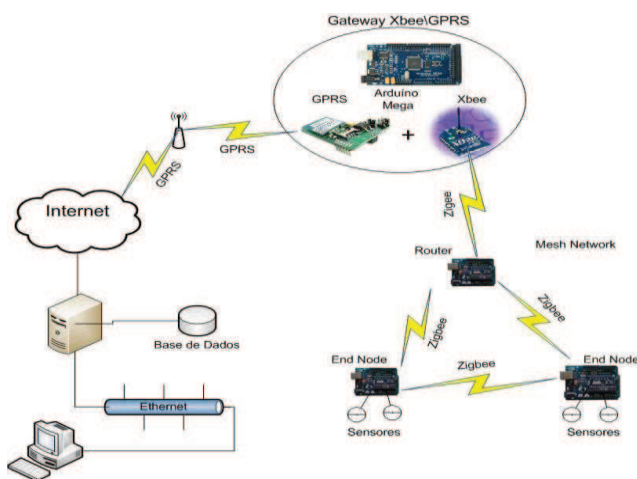


Figura 1- Arquitectura modular do sistema.

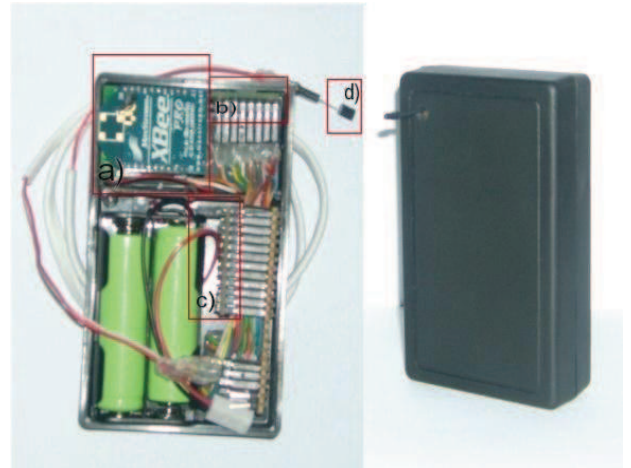


Figura 2- Dispositivo corporal: a) Rádio XBee Pro 2; b) Acelerómetro 3D; c) Arduino WEE; d) Sensor de temperatura [1].

O módulo corporal (ver figura 2) [1] é transportado por cada indivíduo em acompanhamento e tem a capacidade de monitorizar a actividade física desenvolvida (cf. deitado, sentado, a caminhar e a correr) e ainda, detectar quedas que possam ocorrer. Um sensor de temperatura é usado para reportar periodicamente a temperatura corporal do indivíduo. Num futuro próximo este módulo irá permitir também a aquisição do ritmo cardíaco.

O módulo ambiental (ver figura 3) tem uma dupla função. É usado como repetidor para aumentar o alcance da rede de comunicações sem fios onde essa função é imposta pela topologia do espaço a cobrir pelo sistema (essa necessidade é verificada durante o processo de teste do alcance dos sinais de rádio no local de instalação – *site survey*). É também usado para reportar parâmetros ambientais do local monitorizado (e.g., temperatura, humidade, luminosidade, pressão barométrica, etc.) que podem ser correlacionados com a informação obtida dos módulos corporais na tomada de decisões dos profissionais de saúde.

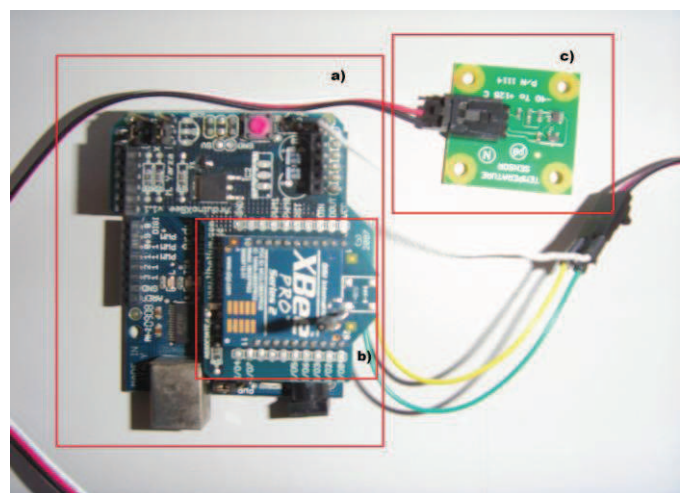


Figura 3 - Módulo Ambiental (*mesh Router*): a) Arduino Diecimila + XBee shield; b) Rádio XBee Pro 2; c) Sensor analógico de temperatura.

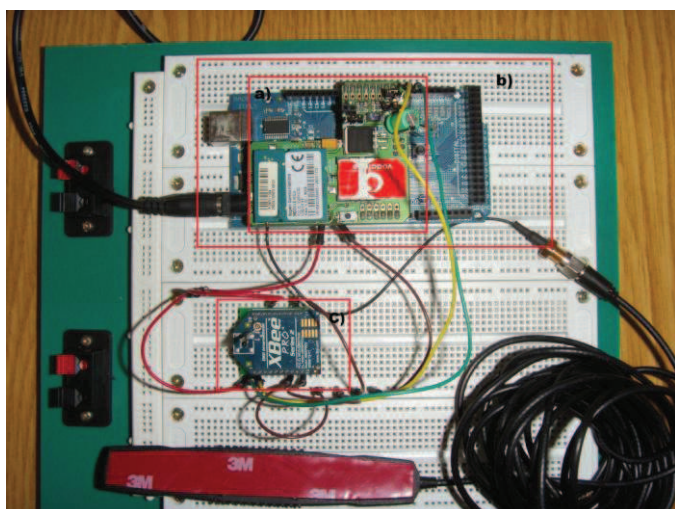


Figura 4 - Gateway XBee-GPRS: a) Módulo GPRS Hilo SAGEM; b) Arduino Mega; c) Rádio XBee Pro 2.

A gateway XBee/GPRS (ver figura 4) tem como função fazer a ponte entre a rede de sensores e a Internet usando para tal o módulo GPRS. Este módulo é responsável por iniciar a rede ZigBee, da qual é o coordenador, e por manter aberta uma ligação TCP/IP com o servidor através da qual são reportados periodicamente os dados obtidos pelos módulos corporais e ambientais presentes na topologia. Esta ligação TCP/IP é bidireccional e permitirá a interrogação das unidades corporais e ambientais, através da interface *Web* do servidor por parte dos profissionais de saúde ou familiares (essa funcionalidade encontra-se actualmente em desenvolvimento).

O servidor é um computador com o sistema operativo LINUX e com uma aplicação *Web* escrita em PHP que lança um processo dedicado a cada *gateway* do sistema (o servidor pode acompanhar N *gateways* em paralelo). As mensagens recebidas são processadas e a informação é posteriormente guardada numa base de dados MYSQL. Os dados obtidos poderão ser tratados estatisticamente de forma a garantir uma visão integrada ao profissional de saúde ou familiar e permitindo desencadear alarmes, de forma automática, quando a informação obtida o justificar.

C. Funcionamento do sistema

De forma a garantir a melhor cobertura possível da rede ZigBee no local de instalação é usada uma topologia de rede em malha (*mesh network*). Nesta topologia de rede não é necessário que todos os dispositivos se encontrem no alcance do coordenador da rede para poderem comunicar com este. Podem ser usados nós intermédios (a funcionar como encaminhadores) que repetirão a informação de modo a que esta possa alcançar o seu destino. Cada nó da rede, para além de efectuar o seu trabalho específico de aquisição e processamento de dados dos seus próprios sensores, é também um potencial repetidor para as mensagens com origem e destino noutros nós da rede.

Os módulos XBee possuem três modos de funcionamento: modo transparente (os rádios simulam simplesmente uma ponte série sem fios, usando difusão como mecanismo de transmissão); modo comando (comunicação com recurso a comandos AT para configuração e Tx/Rx) e modo API (comunicação baseada na troca de tramas com um formato específico - ver figura 5 - para o envio e recepção de mensagens da aplicação, usando a porta de série). Em concreto, na implementação do mecanismo de comunicação foram configurados os módulos XBee em modo API. Este modo permite, por exemplo: alterar parâmetros do rádio sem entrar no modo de comando; ver o RSSI (*Received Signal Strength Indication*) e o endereço do nó de origem no pacote recebido, efectuar entregas confirmadas, entre outras [8].

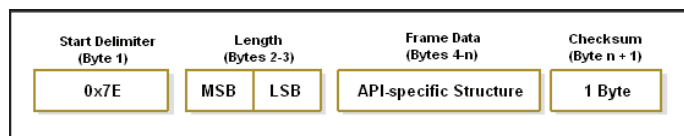
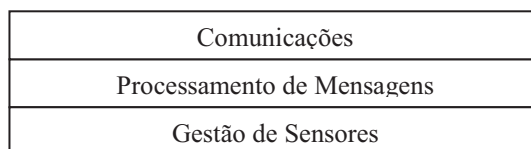


Figura 5 - Exemplo de uma trama API [8]

A programação nos módulos está estruturada em três camadas: Comunicações, Processamento de Mensagens e Gestão de Sensores. Na camada de comunicações está programado o processo de envio e recepção de informação nos nós da rede em malha via ZigBee. No nó *gateway* esta camada trata também da configuração, estabelecimento e manutenção da ligação TCP/IP com o servidor via GPRS. Na camada de processamento de mensagens está programada a construção das mensagens, onde são reportados os dados dos sensores e a verificação sintáctica das mensagens recebidas. Na camada de gestão dos sensores, é efectuada a recolha periódica dos dados de cada sensor.



Para envio de mensagens em modo API, nos módulos corporal e ambiental, é usada a biblioteca *xbec-arduino* [9] que oferece funções de envio e recepção de mensagens. Por exemplo, para o envio de uma mensagem usa-se a função `xbec.send()` que recebe três parâmetros (cf. um vector com os dados a enviar, o endereço físico do rádio receptor e o tamanho da trama).

As mensagens trocadas são constituídas por nove bytes. O primeiro byte representa o tipo de nó; os dois bytes seguintes representam a identificação desse nó; o quarto byte representa o tipo de sensor; o quinto e sexto bytes representam a identificação desse sensor; os três bytes seguintes representam o valor lido pelo sensor (este valor é tratado posteriormente no servidor); por fim, o último byte representa o fim da mensagem. Por exemplo, na mensagem "N01T01100F", N identifica o tipo de dispositivo (N – Nó, R – Router); os dois bytes seguintes (01) identificam o módulo; o byte subsequente (T) corresponde ao tipo de sensor ligado ao dispositivo (neste caso sensor de temperatura); os dois bytes seguintes (01)

contêm a identificação do sensor; os bytes correspondentes a 100 informam o valor inteiro lido pelo sensor e o último byte (F) marca o fim da mensagem.

Do lado da *gateway*, após recebido um pacote XBee (função `xbee.readpacket()`) é necessário enviar essa informação para o servidor. Para tal é usada a ligação TCP previamente estabelecida no arranque do módulo. Este processo é efectuado enviando comandos AT para o módulo GPRS.

Toda a informação recolhida pela malha e enviada para o servidor é finalmente disponibilizada numa página Web que servirá para a consulta dos dados de cada paciente. Estes dados ficam apenas disponíveis a utilizadores com permissão apropriada. A figura 6 mostra a página Web onde o valor da temperatura de um determinado módulo é exibido.

tipo_M	id_M	tipo_S	id_S	valor	ts
N	1	T	1	22.5	2010-02-16 17:02:35
N	1	T	1	22.5	2010-02-16 17:02:32
N	1	T	1	22.5	2010-02-16 17:02:31
N	1	T	1	22.5	2010-02-16 17:02:29
N	1	T	1	24.5	2010-02-16 17:02:22
N	1	T	1	22.5	2010-02-16 17:02:14
N	2	T	1	24.75	2010-02-16 17:01:39
N	2	T	0	25	2010-02-16 17:01:20
N	1	T	1	22.5	2010-02-16 17:01:07
N	1	T	1	22.5	2010-02-16 17:01:05
N	1	T	1	23.75	2010-02-16 17:01:01
N	1	T	1	22.5	2010-02-16 17:00:44
N	1	T	1	22.5	2010-02-16 17:00:18

Figura 6 - Página Web Para visualização dos dados recolhidos

IV. AVALIAÇÃO

Com o objectivo de aferir a fiabilidade do sistema aqui proposto foram realizados alguns testes preliminares às funcionalidades dos diferentes módulos. Os dados recolhidos pelo módulo corporal apresentam boa fiabilidade como foi demonstrado em [1]. Os testes efectuados visaram essencialmente assegurar a fiabilidade e escalabilidade das comunicações dentro da rede de sensores e entre esta e a Internet usando a *gateway* ZigBee/GPRS.

Uma das conclusões dos testes efectuados foi que a comunicação fiável dentro da rede em malha é fortemente dependente do local de instalação do sistema. Apesar do alcance anunciado dos rádios ser apreciável (1500m a 60mW nos 2.4GHz) na prática, a topologia dos edifícios, os materiais usados na sua construção e a espessura das paredes, por exemplo, influenciam consideravelmente a capacidade de propagação dos sinais de rádio na banda usada pelo ZigBee (ISM - *Industrial, Scientific and Medical*). Por este motivo, e para garantir que os dados de todos os pacientes chegam à *gateway* independentemente das suas localizações nos edifícios, foi necessário colocar repetidores (*routers*) em sítios chave previamente determinados. Nestes locais foram instalados módulos ambientais que efectuam a repetição das tramas e, em simultâneo, disponibilizam dados sobre os parâmetros ambientais dos locais de instalação. No caso das

comunicações entre a *gateway* e o servidor, via GPRS, não foram detectados problemas. Este módulo esteve em funcionamento durante períodos longos de tempo sem perder o contacto com o servidor e reportando periodicamente os dados recolhidos pela rede.

Dada a sua natureza, o sistema oferece boas capacidades de escalabilidade, tanto na extensão das áreas cobertas como também no número de utilizadores monitorizados. Isto porque a frequência periódica de emissão de amostras dos sensores não necessita de ser muito elevada. Um período entre 1 a 5 minutos é perfeitamente aceitável para situações de normalidade. Situações de alarme como quedas ou valores anómalos de ritmo cardíaco podem ser imediatamente reportadas (estas situações são, naturalmente, pontuais). Nestas circunstâncias a rede em malha pode suportar centenas de dispositivos [8]. O ponto de agregação dos dados, portanto a *gateway*, pode também suportar um grande número de dispositivos mesmo com uma taxa de 56kbps. Considerando 100 dispositivos na malha com 3 sensores cada e uma frequência de envio de 1 minuto, temos 2700bytes por minuto no nível da aplicação (um pouco mais no nível físico considerando os sobrecustos protocolares) o que é perfeitamente compatível com a taxa de transferência mínima do módulo GPRS.

Um outro ponto importante da avaliação do sistema é a sua usabilidade e aceitação por parte dos pacientes e pessoal de saúde. Este é um ponto que será avaliado a curto prazo assim que o desenho final do módulo corporal estiver estabilizado e estiver disponível um maior número de dispositivos para teste.

V. CONCLUSÃO

O envelhecimento crescente da população mundial é um facto que resulta dos constantes avanços na medicina e indústria farmacêutica. Este facto coloca fortes pressões sobre os sistemas de saúde cuja viabilidade está associada a uma crescente procura de soluções para contenção ou mesmo redução de custos. O acompanhamento eficaz de pacientes em ambulatório é portanto uma necessidade/solução imperiosa para os serviços de saúde.

O sistema descrito neste artigo propõe uma solução ágil, de fácil configuração e manutenção, que pode contribuir para a resolução ou mitigação deste problema social. Trata-se de um sistema escalável baseado em comunicações sem fios suportado por *hardware* de baixo custo e ferramentas de *software* de código aberto. Este sistema permite acompanhar à distância e em tempo real os dados vitais de um grande número de pacientes podendo desencadear alertas em situações de emergência. Trata-se de uma ferramenta que pode contribuir para uma gestão mais racional do pessoal de saúde sem comprometer a qualidade dos cuidados prestados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] P. Gonçalves, J. Torres, P. Sobral, e R. Moreira, "Remote Patient Monitoring in Home Environments," Porto, Portugal: 2009.

- [2] T. Hori, Y. Nishida, H. Aizawa, S.I. Murakami, e H. Mizoguchi, "Proc. of 3rd IEEE Conference on Sensors," 2004, pp. 575-578.
- [3] F. Tang, M. Guo, M. Li, Y. Yang, D. Zhang, e Y. Wang, "Proceedings of the 2007 International Conference on Parallel Processing Workshops," IEEE Computer Society, 2007, p. 72.
- [4] N. Xu, *A Survey of Sensor Network Applications*, University of Southern California, 2003.
- [5] H. Hong-jiang, Y. Zhu-qiang, e W. Xiao-jie, "Design and Realization of Wireless Sensor Network Gateway Based on ZigBee and GPRS," Manchester, England, UK: 2009, pp. 196-199.
- [6] M. Brenthaick, C. Ho, M. Koplou, J. Mangold, S. Robinson, M. Schwartz, C. Sims, H. Stoffregen, A. Waterbury, E.S. Lel, C.R. Baker, T. Pering, P.K. Wright, K. Armijo, S. Belka, M. Benhabib, V. Bhargava, N. Burkhart, A. Der Minassians, G. Dervisoglu, e L. Gutnik, "Proc. of 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW'07)," 2007.
- [7] A. Milenković, C. Otto, e E. Jovanov, "Wireless sensor networks for personal health monitoring: Issues and an implementation," *COMPUTER COMMUNICATIONS (SPECIAL ISSUE: WIRELESS SENSOR NETWORKS: PERFORMANCE, RELIABILITY, SECURITY, AND BEYOND*, vol. 29, 2006, pp. 2521--2533.
- [8] Digi International Inc., "XBee®/XBee-PRO® RF Modules, Product Manual v1.xEx - 802.15.4 Protocol. IEEE® 802.15.4 RF Modules," 2009.
- [9] "xbee-arduino - Arduino library for communicating with XBees in API mode," *xbee-arduino - Project Hosting on Google Code. Available at: <http://code.google.com/p/xbee-arduino/> [Acedido Fevereiro 19, 2010]*, 2009.