

PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA PARA GERENCIAMENTO DA COMUNICAÇÃO RF ENTRE SENSORES E *HOST* EM WBANs

S. R. J. Oliveira*, A. B. Soares

Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia – MG, Brasil

*Autor correspondente - e-mail: srjesus@ufu.br

Resumo: A utilização de cabos para interligação dos sensores aos sistemas principais de condicionamento e aquisição de dados biomédicos impõe uma série de limitações em diversas aplicações, além de serem responsáveis por grande parte dos artefatos captados durante a coleta dos sinais. Diante desta realidade, este trabalho busca propor uma metodologia para projeto e configuração de redes de área corporal sem fio (WBAN- *Wireless Body Area Network*), para operar com grande número de sensores (50 ou mais) e alta taxa de transferência de dados através do canal RF, permitindo monitorar sensores que geram um grande volume de dados, como é o caso de EEG de alta densidade e EMG.

Palavras-chave: WBAN, sensor, rede sem fio, sinais biomédicos.

Abstract: *The use of cables for interconnection of sensors to the main signal conditioning and data acquisition units imposes a number of limitations for many biomedical applications, besides being responsible for most of the artifacts raised during the collection of signals. This work proposes a model to design and configure Wireless Body Area Networks (WBAN), capable of operating with large number of sensors (50 or more) and at high rate of data transfer via RF channel, allowing the monitoring of sensors that generate a large volume of data, such as high density EEG and EMG.*

Keywords: *WBAN, sensor, wireless network, biomedical signals.*

Introdução

As chamadas redes de área corporal sem fio (*Wireless Body Area Network* - WBAN) têm se mostrado uma ótima opção para coleta de dados biomédicos de alta densidade por permitir uma grande flexibilidade de operação e minimização de artefatos [1, 2, 3]. No entanto, o número de sensores na rede e o volume de dados que trafegam pelo canal RF, ainda são limitados. Diante desta realidade, a metodologia para projeto e desenvolvimento de redes WBAN, proposta neste trabalho, tem por objetivo estabelecer os elementos necessários para a definição as características do projeto e modelo de funcionamento de um sistema de comunicação sem fio que envolva grande quantidade de sensores (50 ou mais), com taxas de aquisição elevadas (1kHz ou mais) e com configuração de operação específica para cada sensor.

Materiais e métodos

Topologia de rede – A topologia de rede escolhida para implementação do modelo proposto neste documento foi a rede em estrela, com controle de acesso do tipo mestre-escravo, cuja estrutura é mostrada na Figura 1.



Figura 1 - Topologia de Rede em Estrela.

Nesta topologia, o concentrador comunica-se com cada sensor solicitando que este envie os dados por ele capturados. Isto significa que, em uma WBAN estruturada em estrela e com controle de acesso tipo mestre-escravo, não há a necessidade de verificar se o canal RF estará livre para transmissão, de modo a evitar colisão de dados quando mais de um sensor estiver transmitindo. Resumidamente, a topologia em estrela com controle de acesso do tipo mestre-escravo foi escolhida considerando os seguintes aspectos: Apenas um nó da rede poderá utilizar o canal por vez, o *host* é quem controla o instante de transmissão de cada sensor, o *host* é o único meio para descarregar para o computador as informações recebidas dos sensores, não há necessidade de um sensor da rede se comunicar com outro. A comunicação será sempre do sensor com o *host* e somente quando este último definir o momento exato para tal.

Concepção da WBAN – A WBAN será concebida a partir de informações relativas às características da rede desejada, as quais são: Número de sensores sem fio, taxa de aquisição de dados do conversor A/D de cada sensor, características do canal RF (Taxa de transferência, Tempos de atraso de transmissão, Tempo para disponibilização dos dados para o computador através da porta USB), número de bits utilizados na conversão A/D do sinal biomédico, porcentagem de tempo do canal RF destinado a possíveis retransmissões.

As características que definirão a WBAN a ser implementada serão obtidas a partir de um algoritmo que, com base nas informações acima, indicará se a rede

WBAN será exequível, a partir das informações fornecidas (considerando o hardware de comunicação RF) e do tamanho do pacote de dados de cada sensor.

Exequibilidade da WBAN – A exequibilidade da WBAN só será possível se o volume de bits gerados pelos conversores A/D de todos os sensores for menor que o volume de bits que podem ser transferidos através do canal RF. Este último é dependente do hardware utilizado na comunicação sem fio. O volume de bits gerado pelos conversores A/D dos sensores é fortemente dependente do número de bits utilizados do conversor A/D na caracterização da informação biomédica e da taxa de aquisição definida para cada sensor. Adicionalmente, devem-se considerar ainda os bits utilizados na formação do pacote de dados: **Preâmbulo** – Normalmente possui o tamanho de 1 byte ou 8 bits. Estes bits são necessários para o sincronismo entre o transmissor e o receptor RF; **Endereço** – Possui entre 3 e 5 bytes ou 24 a 40 bits. Indica o endereço de destino do pacote; **Controle do pacote** – Este campo normalmente possui de 6 a 10 bits. Contém informações do tipo: tamanho dos dados no pacote, identificador do pacote, taxa de enchimento da FIFO – Memória do tipo (*First In First Out* – Primeiro a entrar primeiro a sair) destinada a armazenar os dados lidos dos sensores e **CRC**. – Possui entre 1 e 2 bytes e contém o dado para validação do pacote de dados recebido pelo *host*.

Resultados

Estudo de caso – Para descrever a estratégia definida e avaliar suas potencialidades, considere como exemplo a seguinte situação: Deseja-se projetar uma rede WBAN com 30 sensores, sendo 10 sensores gerando dados em 16 bits e com taxa de aquisição de 1 kHz e 20 sensores gerando dados em 12 bits com taxa de aquisição de 500 Hz. O preâmbulo será formado por 8 bits, o endereçamento dos sensores será em 24 bits. O número de bits para gerência dos pacotes de dados será de 8 bits, enquanto que o CRC será composto por 8 bits. O tamanho (em bits) dos dados no pacote transmitido pelo sensor será de $32 \times 8 = 256$ bits. Por fim, o tamanho dos dados no pacote transmitido pelo *host* será de $1 \times 8 = 8$ bits.

O rádio a ser utilizado na comunicação RF possuirá taxa de transferência de 2 Mbps. O tempo de atraso do rádio para início da transmissão será de $200 \mu s$ e o tempo reservado para retransmissão será igual a 10 % do tempo de uma transação RF (tempo *host* transmite + tempo sensor transmite).

Nesta situação, deve-se determinar o volume de bits de dados gerado por cada sensor e em seguida o volume de bits dos 30 sensores, como se segue.

Volume de bits de dados de cada sensor:

$$16 \text{ bits} \times 1000 \text{ Hz} = 16 \text{ kbps};$$

$$12 \text{ bits} \times 500 \text{ Hz} = 6 \text{ kbps};$$

Volume total de bits gerados pelos sensores:

$$10 \times 16 \text{ kbps} + 20 \times 6 \text{ kbps} = 280 \text{ kbps}.$$

Considerando a formação do pacote, o volume total de dados por pacote pode ser calculado, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Pacote de dados do sensor.

Preâmbulo	Endereço	Controle do pacote	Dados	CRC	Total
8 bits	24 bits	8 bits	$32 \times 8 = 256$ bits	8 bits	304 bits

Com estas informações pode-se determinar o volume de pacotes por segundo gerado por cada sensor:

Sensores – 16 bits:

$$N^{\circ} \text{ de Pacotes} / s = \frac{N^{\circ} \text{ de bits} / s \text{ do sensor}}{N^{\circ} \text{ de bits de dados do Pacote}} \quad (1)$$

$$N^{\circ} \text{ de Pacotes} / s = \frac{16000}{256} = 63 \text{ Pacotes} / s$$

sendo cada pacote de 304 bits.

Na transmissão, cada pacote de dados de 256 bits, proveniente dos sensores de 16 bits, resultará em uma transmissão de 304 bits, que é o tamanho do pacote para transmissão (vide Tabela 1). Desta forma, os 10 sensores estarão gerando:

$$63 \times 304 \times 10 = 191.520 \text{ bits}$$

Sensores – 12 bits:

$$N^{\circ} \text{ de Pacotes} / s = \frac{6000}{256} = 24 \text{ Pacotes} / s \quad (2)$$

Como cada pacote contém 304 bits, os 20 sensores de 12 bits estarão gerando:

$$24 \times 304 \times 20 = 145.920 \text{ bps}$$

Assim, o volume total de bits gerados pelos sensores da WBAN será igual a:

$$191.520 + 145.920 = 337.440 \text{ bps}$$

Host – O pacote de comando do *host* será praticamente igual ao do pacote do sensor, com a diferença de que o campo de dados terá apenas 1 byte (8 bits). Assim, o pacote RF gerado pelo *host* pode ser representado como mostrado na Tabela 2:

Tabela 2 - Pacote de dados do *host*.

Preâmbulo	Endereço	Controle do pacote	Dados	CRC	Total
8 bits	24 bits	8 bits	1x8=8 bits	8 bits	56 bits

Para cada interrogação do *host* será necessário um pacote partindo deste em direção ao sensor e outro partindo do sensor em resposta ao *host* (considerando-se que a comunicação foi realizada com êxito). A Figura 2 descreve o processo normal de leitura dos sensores.

Figura 2 - Processo de leitura dos sensores pelo *host*.

Neste cenário, a cada interrogação do *host* serão recebidos 256 bits de dados, que é o tamanho deste campo no pacote transmitido pelo sensor. Neste ponto, considerando o tempo de atraso para início de transmissão de $200\mu\text{s}$, como descrito no exemplo, deve-se definir a real capacidade de transferência de dados da WBAN, utilizando-se o rádio proposto. Para tal, necessita-se conhecer em mais detalhes as características dinâmicas de cada sub-processo envolvido:

- Tempo para transmissão de 1 bit pelo canal RF:

$$1 \text{ bit} = \frac{1}{2 \text{ Mbps} / \text{s}} = 500 \text{ ns} \quad (3)$$

- Tempo de transmissão de um pacote de dados do sensor para o *host*:
 $304 \times 500 \text{ ns} = 156 \mu\text{s}$
- Tempo de transmissão de um pacote de dados do *host* para o sensor:
 $56 \times 500 \text{ ns} = 28 \mu\text{s}$
- Tempo de atraso para início da transmissão:
 $200 \mu\text{s}$;

A Tabela 3 mostra os tempos envolvidos na recepção de 1 pacote de dados vindo de um sensor.

Tabela 3 - Tempos envolvidos na transferência de um pacote de dados do sensor para o *host*.

Tempo Host	Pacote Host	Tempo Sensor	Pacote Sensor	Total
$200 \mu\text{s}$	$28 \mu\text{s}$	$200 \mu\text{s}$	$156 \mu\text{s}$	$584 \mu\text{s}$

Pelo exposto, conclui-se que, a cada $584 \mu\text{s}$, serão transferidos do sensor para o *host* 256 bits de dados.

Desta forma, o número de bits que pode ser transferido a cada segundo com o rádio proposto no exemplo será:

$$256 \text{ bits} \rightarrow 584 \mu\text{s}$$

$$N^\circ \text{ de bits} \rightarrow 1 \text{ s}$$

$$N^\circ \text{ de bits} = 438.356 \text{ bps}$$

Este número representa o número máximo de bits de dados/s que pode ser transferido dos sensores para o *host* com um rádio de 2 Mbps e tempo de atraso de $200 \mu\text{s}$ para início da transmissão.

Deve-se agora avaliar se este rádio conseguirá transferir os dados gerados pelos 30 sensores. Como visto anteriormente, todos os sensores juntos geram um volume de bits igual a 280.000 bps. Como o rádio consegue transferir até 438.356 bps, a transferência poderá ser realizada e o rádio estará ainda operando ocioso por 36,2 % do tempo total, como mostrado a seguir.

$$\text{Tempo de Ocupação} = \frac{280.000}{438.356} * 100 = 63,8\% \quad (4)$$

$$\text{Tempo de Ociosidade} = 100\% - \text{Tempo de Ocupação} \quad (5)$$

$$\text{Tempo de Ociosidade} = 36,2\%$$

Tempo destinado a retransmissões – O trânsito de dados entre sensores e o *host*, através da WBAN, está sujeito à diversas intercorrências e limitações, comuns à qualquer comunicação sem fio, como por exemplo: ruídos eletromagnéticos, transmissão de dados por outros rádios na vizinhança etc. Assim, o volume máximo de dados gerados e efetivamente transmitidos pelos sensores pertencentes à rede WBAN deverá considerar a possibilidade de que alguma informação tenha que ser retransmitida, ou seja, o volume total de dados gerados pelos sensores sem fio não poderá ocupar todo o tempo de comunicação do canal RF, devendo ser reservado um tempo para possíveis retransmissões. Durante este tempo, o canal RF estará ocioso e será utilizado somente em situações de retransmissão de pacotes. Reservar este tempo é importante como forma de aumentar a confiabilidade da WBAN.

Memória FIFO – Na estratégia proposta, todos os sensores deverão possuir uma memória FIFO para armazenamento dos dados digitalizados até que sejam lidos pelo *host*. Por conta disso, a FIFO deverá ter um tamanho que permita manter o processo de digitalização da informação pelo conversor A/D, sem perda de dados, até que o *host* solicite os dados digitalizados. Evidentemente, se a WBAN estiver operando em um canal RF eficiente, poucos bytes serão necessários para a FIFO. Como evidenciado em [4], o número de bytes na FIFO deverá ser capaz de armazenar de 2 a 3 pacotes de dados.

O processo de captura dos dados dos sensores deverá seguir uma sequência dinâmica e adaptativa, de

modo a garantir que os dados de todos os sensores sejam lidos e enviados ao computador, sem que haja perdas de informações (pacotes). Isto será feito criando-se no *host* uma variável para controle de prioridade para cada sensor da WBAN. Esta variável será chamada de PRDS_x, onde *x* é o número do sensor na WBAN. Quanto maior o valor contido nesta variável, menor será a prioridade do *host* na leitura dos dados deste sensor. Quando o valor desta variável é diminuído até zero, este recebe prioridade máxima e será o próximo sensor a ser lido pelo *host*. O valor desta variável é alterado em função dos seguintes critérios: Porcentagem de enchimento da memória FIFO presente em cada sensor. Esta informação será incluída no pacote de dados transmitido do sensor para o *host*, Taxa de aquisição do conversor A/D de cada sensor, Perdas de pacote de algum sensor, indicando a necessidade de retransmissão.

Diante deste cenário, o *host* deverá ajustar dinamicamente as prioridades dos sensores na definição da sequência de leitura, considerando também a necessidade de retransmissão de algum pacote de dados. Isto significa que, caso algum pacote de dados seja perdido, não chegando ao *host* ou chegando com erro, a prioridade do sensor, que teve o pacote perdido, será elevada para que o pacote seja retransmitido no menor tempo possível.

Discussão

Este trabalho descreve uma metodologia cujo objetivo é aprimorar o processo de projeto de redes WBAN, de modo a otimizar a captura dos dados dos sensores, elevando, o quanto possível, o volume de dados transferidos e o número de sensores na WBAN.

Atualmente, esta metodologia, e o modelo de WBAN proposto, está sendo implementada a partir de um rádio fabricado pela empresa Nordic® (nRF24LE1) [4, 5]. No experimento inicial o modelo está sendo implementado com 9 rádios sensores e 1 *host* para a validação da proposta, como mostrado na Figura 3.

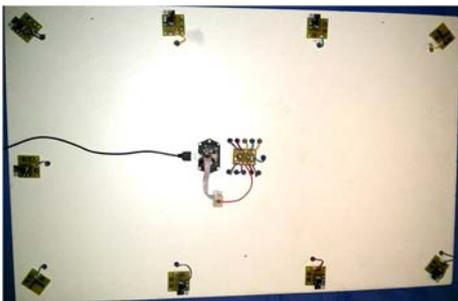


Figura 3 – Montagem para validação do modelo.

O protótipo em desenvolvimento busca avaliar a eficiência deste modelo e compará-la com outros utilizados em pesquisas na área [2, 3]. Os resultados desta etapa serão objeto de publicações futuras.

Agradecimentos

Manifestamos nossos agradecimentos à FAPEMIG pelo importante apoio financeiro durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Referências

- [1] SHARMA, S. et al. Wireless Body Area Network for Health Monitoring. 4th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI). [S.l.]: IEEE. 2011. p. 2183-2186.
- [2] STEINBERG, I. M.; STEINBERG, M. D. Radio-frequency tag with optoelectronic interface for distributed wireless chemical and biological sensor applications. Sensors and Actuators B: Chemical, Croatia, 03 Março 2009. 120-125.
- [3] JOVANOVIĆ, E. et al. A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, Minnesota - EUA, 01 Março 2005. 1-10.
- [4] SEMICONDUCTOR, N. nRF24LE1 - Ultra-low Power Wireless System On-Chip Solution. 1.6. ed., 2010.
- [5] WEDER, A. An Energy Model of the Ultra-Low-Power Transceiver nRF24L01 for Wireless Body Sensor Networks. Second International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks. IEEE. 2010. p. 118-123.