

Avaliação de Desempenho de Redes de Sensores Corporais Sem-Fio com Mobilidade Usando Protocolo de Roteamento AODV

Creyton Barreto de Moraes Ferreira, Raphael Melo Guedes, Laura Silva de Assis,
Diego Barreto Haddad e Felipe da Rocha Henriques

Resumo—Redes de Sensores Corporais Sem-Fio (do inglês, *Wireless Body Area Networks* - WBANs) com suporte à mobilidade estão sujeitas a desconexões devido a variações posturais, típicas do movimento humano. Neste cenário, este trabalho analisa o comportamento do protocolo de vetor distância AODV para roteamento em WBANs com mobilidade. Nós avaliamos dois padrões distintos de movimento, para ambos os padrões de rede sem-fio, IEEE 802.15.4 e IEEE 802.15.6. O primeiro padrão de movimento é fornecido pelo simulador de rede Castalia; e o segundo padrão de movimento é implementado usando o modelo MoBAN, que gera um padrão de movimento mais realista, típico de posturas humanas. Os resultados obtidos mostram que o padrão de rede IEEE 802.15.6 é superior ao padrão IEEE 802.15.4, em cenários com mobilidade, tanto em relação à taxa de perdas, quanto em relação ao consumo de energia.

Palavras-Chave—Rede de Sensores Corporais Sem-Fio, Mobilidade, AODV.

Abstract—Wireless Body Area Networks (WBANs) with mobility support are subject to disconnections due to postural variations, typical of human movement. In this scenario, this work analyzes the behavior of the AODV distance vector protocol for routing in the WBANs with mobility. We evaluate two distinct patterns of movement, for both IEEE 802.15.4 and IEEE 802.15.6 network standards. The first pattern of movement is provided by the Castalia simulator; and the second is implemented using the MoBAN model which generates a more realistic movement pattern, typical of human postures. Obtained results show that the IEEE 802.15.6 network standard is superior to the IEEE 802.15.4 standard, in mobility scenarios, both in terms of loss rate and energy consumption.

Keywords—Wireless Body Area Network, Mobility, AODV.

I. INTRODUÇÃO

Redes de Sensores Sem-Fio (RSSFs) são redes *ad hoc*, formadas por dispositivos sensores que possuem capacidade de coletar dados, em diferentes contextos, podendo, de maneira autônoma, transmiti-los via um padrão de rede sem-fio apropriado [1] [2]. Os sensores são dispositivos com uma reduzida capacidade de processamento, comunicação e bateria. Esses dispositivos são formados por quatro unidades básicas:

Creyton B. M. Ferreira, Coordenação de Engenharia de Computação, Cefet/RJ, Petrópolis-RJ, e-mail: creyton.ferreira@aluno.cefet-rj.br; Raphael M. Guedes, IME-UERJ, Rio de Janeiro-RJ, e-mail: raphael.guedes@ime.uerj.br; Laura S. Assis, PPCIC, Coordenação de Engenharia de Computação, Cefet/RJ, Petrópolis-RJ, e-mail: laura.assis@cefet-rj.br; Diego B. Haddad, PPEEL, PPGIO, Coordenação de Engenharia de Computação, Cefet/RJ, Petrópolis-RJ, e-mail: diego.haddad@cefet-rj.br; Felipe R. Henriques, PPCIC, PPGIO, Coordenação de Telecomunicações, Cefet/RJ, Petrópolis-RJ, e-mail: felipe.henriques@cefet-rj.br. Este trabalho foi parcialmente financiado por DIPPG, Cefet/RJ.

sensoriamento, processamento, comunicação e uma unidade de energia. A unidade de sensoriamento é responsável por capturar os eventos do ambiente, e converter os sinais analógicos produzidos em sinais digitais. A unidade de processamento recebe os dados digitais e realiza as operações necessárias, de acordo com o objetivo da aplicação. Além disso, essa unidade gerencia as tarefas a serem realizadas e enviadas para outro sensor da rede. Os dados, quando prontos, são levados à unidade de comunicação, responsável pela transmissão e recepção de mensagens na rede. Por fim, temos a unidade de energia, responsável por manter o sensor ativo.

As Redes de Sensores Corporais Sem-Fio (*Wireless Body Area Network*–WBANs) [3] são um tipo de RSSF, cujos dispositivos coletam dados biométricos de um indivíduo, tais como eletrocardiograma (ECG) [4], eletroencefalograma (EEG) [5], saturação de oxigênio no sangue [6] ou até os movimentos de membros [7]. A comunicação é tipicamente sem-fio, e dois padrões de rede sem-fio comumente usados em redes WBAN são: o IEEE 802.15.4 [8] e o IEEE 802.15.6 [9].

Aumentar o tempo de vida de redes de sensores sem-fio, ainda hoje, é um grande desafio [10]. Os sensores são alimentados por uma bateria que, respeitando a comodidade do paciente, devem ser pequenas e com uma baixa taxa de substituição. Assim, a avaliação e estudos de métodos que resultem na conservação de energia dos nós sensores é de grande importância [11] [12], pois permite o aumento da autonomia das RSSFs, e um menor número de intervenções no indivíduo, no caso das WBANs.

Considerando o contexto da aplicação das Redes de Sensores Sem-Fio no monitoramento do corpo humano, este trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho do protocolo de roteamento AODV (*Ad-hoc On Demand Distance Vector*) [13] em uma rede WBAN com suporte à mobilidade [14]. Para a referida avaliação, comparamos os resultados obtidos considerando os padrões de rede sem-fio IEEE 802.15.4 e IEEE 802.15.6. A rede de sensores corporais foi submetida a dois padrões de movimentação. O primeiro dispõe de movimentos lineares, e é provido pelo simulador Castalia [15]. Já o segundo, baseia-se em padrões mais realistas de movimentação humana, implementados utilizando o MoBAN [14] junto do OMNeT++ [16]. Os resultados obtidos mostram que o desempenho do padrão de rede IEEE 802.15.6 é superior ao padrão IEEE 802.15.4 em termos da taxa de perda de pacotes e em termos do consumo de energia, em cenários com mobilidade.

O presente trabalho encontra-se organizado da seguinte

forma: Na Seção II o protocolo AODV é apresentado, bem como as justificativas para o seu uso e uma breve revisão da literatura. Os padrões de rede sem-fio considerados são apresentados na Seção III. O cenário de simulação é apresentado na Seção IV, e os resultados são apresentados na Seção V. Por fim, as conclusões e futuras direções deste trabalho são apresentadas na Seção VI.

II. PROTOCOLO AODV E TRABALHOS RELACIONADOS

O AODV é um protocolo de vetor distância, e foi escolhido neste trabalho pois permite que os nós realizem o cálculo de melhor rota sem a necessidade de conhecer toda a topologia da rede, permitindo fácil manutenção e escalabilidade [17]. Além disso, o AODV é um protocolo do tipo reativo, ou seja, suas rotas são criadas sob demanda, preservando os recursos da rede. Dessa forma, esse protocolo é apropriado para atender cenários de mobilidade levando em consideração o bom uso de banda, energia disponível e processamento [18] [19].

Quando um nó sensor de origem precisa encaminhar um pacote para um nó de destino, que não consta em sua tabela de roteamento, um processo de descoberta de rotas é realizado. Existe também a manutenção de rotas, na qual pacotes *HELLO* são direcionados aos enlaces para verificar se os mesmos encontram-se ativos. Se um enlace estiver inativo, uma atualização na tabela de rotas ocorrerá, levando em consideração o atual estado desse nó vizinho.

É válido destacar, ainda, que o AODV possui mecanismos para contornar *loops* – mesmo desconhecendo a topologia da rede – evitando problemas como a “contagem até o infinito”, contidos em protocolos de vetor distância clássicos. E, além disso, de acordo com [20], o AODV possui resposta rápida a modificações de enlaces dinâmicos, permitindo uma maior eficiência em cenários de alta mobilidade.

Em [21], três protocolos de roteamento são analisados em Redes de Sensores Corporais Sem-Fio, em cenários estáticos (sem movimento). A partir dos resultados obtidos, os autores observaram que o AODV superou tanto o DSDV (*Destination-Sequenced Distance Vector Routing*), quanto o DSR (*Dynamic Source Routing*), em termos de consumo de energia, atraso e vazão da rede. Em [22], uma variante do AODV foi desenvolvida de sorte a dar prioridade na transmissão de dados críticos. Os autores consideram o padrão de rede IEEE 802.15.6, também em um cenário sem mobilidade.

Os autores de [23] propuseram um protocolo de roteamento com suporte para QoS baseado no AODV aplicado em Redes de Sensores Corporais Sem-Fio. O protocolo tem por objetivo garantir confiabilidade na entrega de dados biométricos de pacientes, e é baseado no padrão IEEE 802.15.6. Já em [24], os autores investigam o efeito da mobilidade na vazão em redes WBAN. A análise é realizada em uma rede IEEE 802.15.6 simulada, considerando o protocolo de roteamento AODV, onde três condições foram avaliadas: pessoa parada, caminhando e correndo.

Como contribuições deste trabalho em relação aos trabalhos investigados, destacamos não apenas a avaliação de desempenho do protocolo de roteamento AODV em WBANs com mobilidade, mas sobretudo: *i)* a comparação entre as

tecnologias de rede IEEE 802.15.4 e IEEE 802.15.6; e *ii)* a análise de padrões de movimentação humana implementados através do módulo MoBAN.

III. PADRÕES PARA REDE DE SENSORES CORPORAIS SEM-FIO

A. Padrão IEEE 802.15.4

O padrão IEEE 802.15.4 [8], comumente usado em RSSFs, define a camada física e a subcamada MAC de redes ZigBee. Este padrão opera com baixa taxa de transmissão e baixo consumo de energia [25]. No que se refere a camada física, o padrão considera a comunicação em três bandas de frequência: a banda centrada em 868 MHz utiliza a modulação BPSK e taxas de 20 kHz, com um canal disponível; a banda centrada em 915 MHz também usa modulação BPSK e taxas de 40 kHz, com 10 canais disponíveis; a banda centrada em 2,4 GHz utiliza modulação O-QPSK, com 16 canais disponíveis, e taxas de até 250 kbps. O IEEE 802.15.4 baseia-se no Espalhamento Espectral por Sequência Direta (DSSS) [26].

Referindo-se a subcamada MAC, o padrão IEEE 802.15.4 suporta a comunicação com e sem *beacon*. Considera-se, ao utilizar a comunicação com *beacon*, uma sincronização os dispositivos associados à rede. Assim, cada nó possui, dentro de um *superquadro*, um *slot* de tempo específico para realizar transmissões. Já a comunicação sem *beacon* considera o protocolo CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*). Nesse protocolo, cada nó da rede que deseja realizar uma transmissão verifica se o canal está livre. Caso esteja livre, ele pode transmitir; caso contrário, ele espera um tempo aleatório e volta a verificar o canal [27].

Vale lembrar, ainda, que uma rede IEEE 802.15.4 possui duas topologias básicas: em estrela e P2P (*Peer-to-peer*). Na topologia em estrela existe um nó centralizador – o coordenador da rede – que é responsável por gerenciar a comunicação; ou seja, todo o fluxo de dados entre um nó origem e destino passa pelo nó central. Já na topologia P2P, cada nó da rede pode se comunicar com um outro nó vizinho que esteja dentro do seu raio de alcance, dado em função da sua potência de transmissão. No caso de redes WBAN, como a potência de transmissão é baixa, os nós devem estar próximos uns dos outros para que ocorra comunicação [28].

B. Padrão IEEE 802.15.6

O padrão IEEE 802.15.6 [9] foi criado para atender as necessidades de aplicações WBAN, pois leva em consideração os efeitos das antenas em diferentes tipos de pessoas. Nesse sentido, considera-se que os nós podem estar implantados na pele de um paciente. Dessa forma, também leva-se conta as características do tecido humano no processo de transmissão e recepção de dados. Além disso, o padrão provê baixo consumo de energia, uma característica importante para as Redes de Sensores Corporais Sem-Fio.

Na camada física, o padrão IEEE 802.15.6 considera, além das ISM usuais (bandas aprovadas por associações médicas) mais três possibilidades: a NB (*Narrow Band*), que suporta comunicação em diferentes frequências; a UWB (*Ultra Wide Band*) que opera na banda centrada em 3993,6 MHz ou

7987,2 MHz; e, por fim, a especificação HBC (*Human Body Communications*) que utiliza a comunicação de campo elétrico (EFC–*Electric Field Communication*), suportando transmissão na banda de 21 MHz, conforme [29].

O padrão também considera, na subcamada MAC, a comunicação com e sem *beacon*, e o CSMA/CA é adotado como protocolo de acesso ao meio compartilhado. Redes IEEE 802.15.6 possuem um nó, responsável por gerenciar a comunicação em uma topologia em estrela, assim como as redes IEEE 802.15.4. Entretanto, existe a possibilidade de uma topologia em estrela com dois saltos, fornecendo, assim, uma maior escalabilidade para esse tipo de rede; ou seja, um nó pode estar a dois saltos do coordenador da rede.

IV. CENÁRIO DE AVALIAÇÃO

Considerou-se o ambiente de simulação Castalia/MoBAN, baseado no simulador a eventos discretos OMNeT++. O desempenho do algoritmo AODV é avaliado sobre os padrões de rede sem-fio IEEE 802.15.4 e IEEE 802.15.6, de modo a obtermos, também, uma análise comparativa das duas pilhas de protocolos mais utilizadas em redes WBAN. Os parâmetros *default* do protocolo AODV, providos pelo simulador, foram considerados, tais como: tempo de rota ativa de 3 milissegundos e intervalo de 1 milissegundo para as mensagens de *HELLO*. Além disso, o esquema de rede é submetido a dois padrões de movimentação: um padrão linear, mais simples, fornecido pela ferramenta Castalia [30]; e um padrão mais realista, baseado em posturas típicas do ser humano, implementado a partir do módulo MoBAN [14].

Os gráficos, na Seção V, apresentam os resultados médios de 30 rodadas de simulação com o intervalo de confiança de 95%, para um tempo total de simulação de 120 segundos. Este tempo de simulação considera apenas a análise dos eventos da rede, sem levar em conta o tempo de processamento. Desse modo, o tempo real é maior do que os 120 segundos. A Figura 1 apresenta a topologia de rede considerada nas simulações. Considera-se como sorvedouro, um aparelho robusto externo ao corpo, um *smartphone*, a título de exemplo. A energia inicial dos nós sensores é de 18.720 Joules, a potência de transmissão é de -10dBm e a sensibilidade do receptor é de -87dBm [31].

V. RESULTADOS

A. Taxa de Perda

As Figuras 2 e 3 apresentam resultados para a taxa de perda quando o modelo é avaliado sobre o padrão de rede sem-fio IEEE 802.15.6. O mesmo comportamento também foi observado para o padrão do IEEE 802.15.4, porém a taxa de perda foi maior para este último conforme podemos ver na Figura 4. Nesta figura, apresentamos as maiores e menores taxas de perda obtidas para os padrões IEEE 802.15.4 e IEEE 802.15.6 ocorridas para os sensores ECG e Movimento. Para estes resultados comparamos os casos de simulação de 12 Pacotes/segundo. Estes resultados podem ser justificados pelo fato do IEEE 802.15.6 permitir transmissões de até 2 saltos de distância entre a fonte e o destino, resultando assim em um número menor de desconexões devido a movimentos do

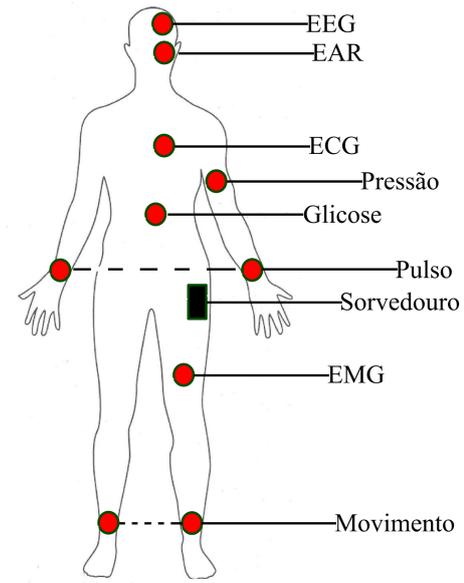


Fig. 1. Topologia de rede considerada nas simulações (adaptado de [32]).

usuário em relação ao padrão IEEE 802.15.4. Assim essas taxas, em todos os pontos avaliados, mostraram-se superiores quando comparadas com o modelo rede submetido ao padrão do IEEE 802.15.6, como esperado e já mencionado em trabalhos anteriores [33].

Observa-se, na Figura 2, uma maior taxa de perda para os sensores de Movimento e de Pulso. Os sensores de ECG e EEG apresentam uma menor taxa de perda, por terem menor mobilidade, como esperado. As taxas de perda são acentuadas quando o modelo proposto é submetido aos padrões movimentação baseado em posturas típicas do ser humano, mostrado na Figura 3, chegando a valores próximos a 9%, para o sensor de Movimento que, junto com o sensor de Pulso, apresenta maiores taxas de perda. Os sensores de ECG e EEG apresentam menores taxa de perda, como esperado.

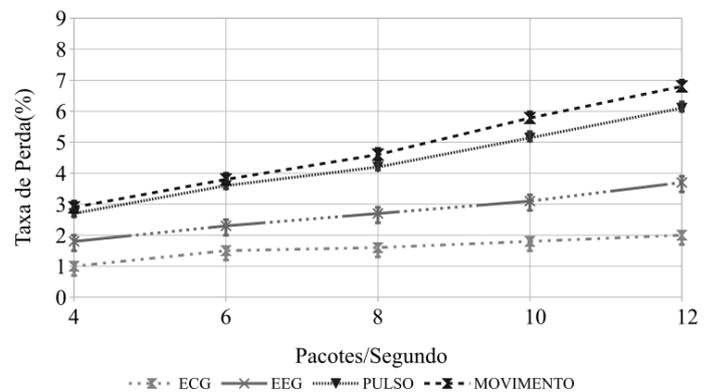


Fig. 2. Taxa de perda, considerando o padrão de movimentação linear do Castalia, para redes IEEE 802.15.6.

Nota-se um comportamento semelhante, no que se refere a taxa de perda, para os sensores de ECG, EEG, Pulso e Movimento quando esses são submetidos aos dois padrões

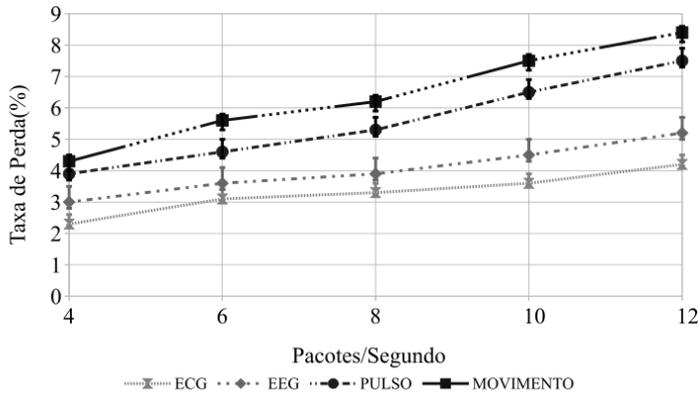


Fig. 3. Taxa de perda considerando o padrão de movimentação baseado em posturas humanas, para redes IEEE 802.15.6.

de movimentação avaliados. Entretanto, destaca-se o aumento da taxa de perda quando configurou-se um cenário de rede mais perto da realidade, com movimentações típicas do ser humano. Desse modo, podemos observar uma relação entre o aumento da mobilidade e o aumento da perda de pacotes (como consequência do aumento do número de desconexões).

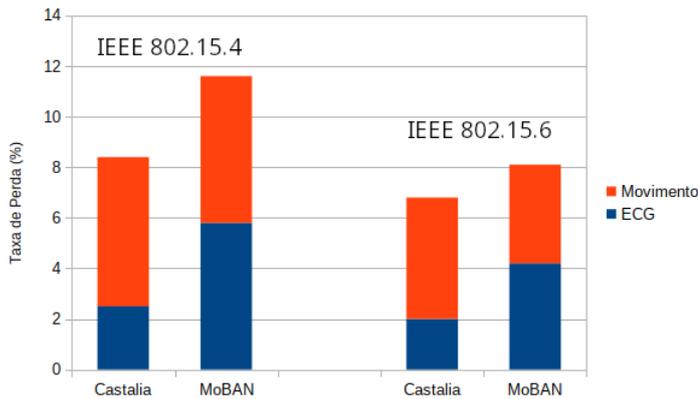


Fig. 4. Maior e menor taxa de perda, considerando o padrão de movimentação MoBAN e Castalia para redes IEEE 802.15.6 e IEEE 802.15.4.

B. Consumo de Energia

A taxa de perda, apresentada na Subseção V-A, possui relação direta com o consumo de energia no nó sensor, por conta das retransmissões geradas em resposta à perda de um pacote, por exemplo. As Figuras 5 e 6 apresentam o consumo de energia, em Joules, para os padrões de rede sem-fio IEEE 802.15.4 e IEEE 802.15.6.

A Figura 5 apresenta o consumo de energia quando a rede é submetida ao padrão de movimentação do Castalia. Nota-se um consumo maior quando a rede é submetida ao padrão do IEEE 802.15.4. Como esperado, a partir dos resultados explicitados na Subseção V-A, os sensores de Movimento e Pulso são os que possuem um maior consumo energético, nos dois padrões de rede sem-fio.

Além disso, pode-se ainda observar na Figura 6 um maior consumo de energia, para os dois padrões de rede sem-fio avaliados, quando o esquema de rede é submetido ao modelo

de movimentação baseado em posturas humanas. O padrão do IEEE 802.15.4 apresentou um maior consumo energético. Por fim, verifica-se que o consumo de energia aumentou consideravelmente quando a rede é submetida ao padrão de movimentação humana.

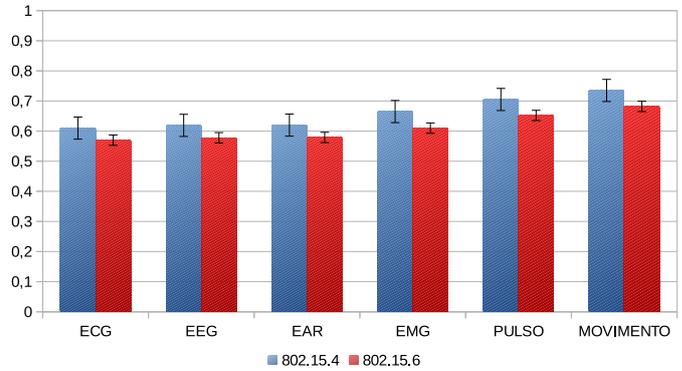


Fig. 5. Consumo de energia para os padrões de rede IEEE 802.15.4 e IEEE 802.15.6, em Joules, considerando o padrão de movimentação linear do Castalia.

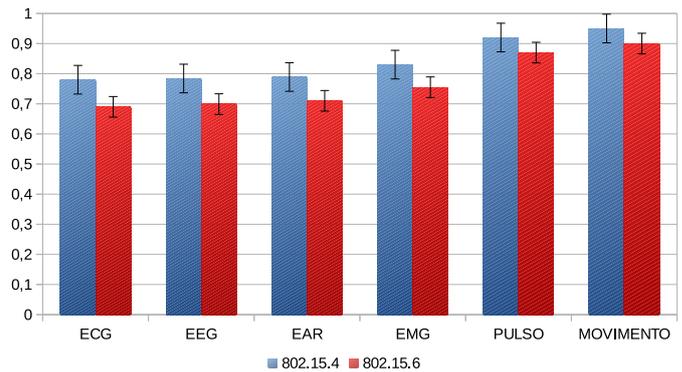


Fig. 6. Consumo de energia para os padrões de rede IEEE 802.15.4 e IEEE 802.15.6, em Joules, considerando o padrão de movimentação baseado em posturas humanas.

VI. CONCLUSÃO E PRÓXIMAS DIREÇÕES

Investigou-se, neste trabalho, a eficiência de uma rede WBAN, com suporte à mobilidade, utilizando o protocolo de roteamento AODV, no que diz respeito aos seguintes parâmetros: taxa de perda de pacotes e o consumo de energia dos nós sensores. A aplicação avaliada considerou os dois principais padrões de rede sem-fio usados em redes WBAN, o IEEE 802.15.4 e o IEEE 802.15.6. Nas simulações, levou-se em consideração um padrão linear de movimentação, bem como um esquema de movimentação baseado em posturas típicas do ser humano, utilizando o modelo MoBAN.

Pôde-se verificar, a partir dos resultados, uma maior taxa de perda quando se considera o modelo de movimentação baseado nas posturas típicas do ser humano, assim como um maior consumo de energia. Além disso, verificou-se que o padrão de rede sem-fio IEEE 802.15.6 apresentou menores taxas de perda de pacotes e menor consumo de energia, quando

comparado ao padrão IEEE 802.15.4, para ambos os modelos de movimentação (linear e realista). A partir dos resultados, é possível verificar, ainda, a importância de utilizar padrões de movimentos semelhantes a realidade, a fim de obter resultados mais coerentes.

Para futuras direções, pretende-se avaliar outros protocolos de roteamento, tais como: DSDV, OLSR e DSR, além de utilizar modelos que permitam reduzir a taxa de perdas dos nós sensores, geradas por conta das desconexões posturais típicas do ser humano. Também planejamos comparar o padrão IEEE 802.15.6 com o *Bluetooth Low Energy*. Por fim, pretende-se realizar experimentos em um ambiente real, a partir de uma rede de sensores corporais sem-fio, de modo a validar os resultados de simulação apresentados neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à DIPPG (Cefet/RJ) pelo suporte ao trabalho desenvolvido.

REFERÊNCIAS

- [1] “Redes de Sensores Sem Fio,” in *Minicurso do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, 2003, pp. 179–226.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “Wireless Sensor Networks: A Survey,” *Computer Networks*, vol. 38, no. 4, pp. 393–422, March 2002.
- [3] F. R. Henriques, L. C. S. C. Retondaro, E. F. Carneiro, and D. K. T. de Moraes, “Remote Monitoring of Electrocardiogram Signals Transmitted in a ZigBee Network,” in *Proceedings of the XXXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações-SBt 2013*, Fortaleza-CE, 2013, pp. 1–5.
- [4] R. Singla, N. Kaur, D. Koundal, and A. Bharadwaj, “Challenges and developments in secure routing protocols for healthcare in wban: a comparative analysis,” *Wireless Personal Communications*, pp. 1–40, 2022.
- [5] M. H. Aghababaei, G. Azemi, and J. M. O’Toole, “Detection of epileptic seizures from compressively sensed eeg signals for wireless body area networks,” *Expert Systems with Applications*, vol. 172, p. 114630, 2021.
- [6] T. Cao, L. Tao, D. Liu, Q. Wang, and J. Sun, “Design and realization of blood oxygen and heart rate sensor nodes in wireless body area network,” in *2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications (ICAICA)*. IEEE, 2020, pp. 469–473.
- [7] C. A. Tavera, J. H. Ortiz, O. I. Khalaf, D. F. Saavedra, and T. H. Aldhyani, “Wearable wireless body area networks for medical applications,” *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, vol. 2021, 2021.
- [8] P. Baronti, P. Pillai, V. Chook, S. Chessa, A. Gotta, and Y. F. Hu, “Wireless Sensor Networks: a Survey on the State of Art and the 802.15.4 and ZigBee Standards,” *Computer Communications*, vol. 30, no. 7, pp. 1655–1695, May 2007.
- [9] “IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks,” in *Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York, USA, Standard*, 2012.
- [10] K. Guleria and A. K. Verma, “Comprehensive review for energy efficient hierarchical routing protocols on wireless sensor networks,” *Wireless Networks*, vol. 25, pp. 1159–1183, 2019.
- [11] F. R. Henriques, L. Lovisollo, and M. G. Rubinstein, “DECA: distributed energy conservation algorithm for process reconstruction with bounded relative error in wireless sensor networks,” *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2016, no. 163, pp. 1–18, July 2016.
- [12] F. Da Rocha Henriques, L. Lovisollo, and E. A. Barros da Silva, “Rate-distortion performance and incremental transmission scheme of compressive sensed measurements in wireless sensor networks,” *Sensors*, vol. 19, no. 2, 2019. [Online]. Available: <http://www.mdpi.com/1424-8220/19/2/266>
- [13] V. C. Ferreira, D. C. Muchaluat-Saade, and C. V. de Albuquerque, “Estudo sobre estabilidade de rotas em redes corporais sem fio,” in *Escola Regional de Computação Aplicada à Saúde (ERCAS-RJ 2018)*, vol. 6, no. 1/2018. SBC, 2018.
- [14] M. Nabi, M. Geilen, and T. Basten, “Moban: A configurable mobility model for wireless body area networks,” in *Proceedings of the 4th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and . . . , 2011, pp. 168–177.
- [15] D. Pediaditakis, Y. Tselishchev, and A. Boulis, “Performance and scalability evaluation of the castalia wireless sensor network simulator,” in *Proceedings of the 3rd international ICST conference on simulation tools and techniques*. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and . . . , 2010, p. 53.
- [16] A. Varga, “Omnet++,” in *Modeling and tools for network simulation*. Springer, 2010, pp. 35–59.
- [17] C. O. Asogwa, X. Zhang, D. Xiao, and A. Hamed, “Experimental analysis of aodv, dsr and dsdv protocols based on wireless body area network,” in *Internet of Things*. Springer, 2012, pp. 183–191.
- [18] K. A. Darabkh, M. G. Alfawares, and S. Althunibat, “Mdrma: Multi-data rate mobility-aware aodv-based protocol for flying ad-hoc networks,” *Vehicular Communications*, vol. 18, p. 100163, 2019.
- [19] S. Choudhary, V. Narayan, M. Faiz, and S. Pramanik, “Fuzzy approach-based stable energy-efficient aodv routing protocol in mobile ad hoc networks,” in *Software Defined Networking for Ad Hoc Networks*. Springer, 2022, pp. 125–139.
- [20] C. E. Perkins and E. M. Royer, “Ad-hoc on-demand distance vector routing,” in *Proceedings WMCSA’99. Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*. IEEE, 1999, pp. 90–100.
- [21] S. V. Shinde and S. S. Sonavane, “Performance analysis of static wireless body area network for different routing protocols,” *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 278–283, 2020.
- [22] M. Ambigavathi and D. Sridharan, “Priority based aodv routing protocol for critical data in wireless body area network,” in *2015 3rd International Conference on Signal Processing, Communication and Networking (ICSCN)*, 2015, pp. 1–5.
- [23] T. Waheed, F. Karim, and S. Ghani, “Qos enhancement of aodv routing for mbans,” *Wireless Personal Communications*, vol. 116, pp. 1379–1406, 2021.
- [24] S. Shinde and S. Sonavane, “Effect of mobility conditions on the throughput of the wireless body area network,” *International Journal of Sensors Wireless Communications and Control*, vol. 11, no. 2, pp. 235–243, 2021.
- [25] “Ieee standard for information technology– local and metropolitan area networks– specific requirements– part 15.4: Wireless medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications for low rate wireless personal area networks (wpans),” in *IEEE Std 802.15.4-2006 (Revision of IEEE Std 802.15.4-2003)*, 2006, pp. 1–320.
- [26] F. D. M. d. Oliveira, “Fte-leach: um protocolo energeticamente eficiente e tolerante a falhas aplicado às redes industriais de sensores sem fio,” 2015.
- [27] A. S. Tanenbaum, *Redes de computadores*. Pearson educación, 2003.
- [28] C. B. de M. Ferreira, R. M. Guedes, and F. d. R. Henriques, “Cluster-head switching algorithm based on node temperature in wireless body sensors networks,” in *Proceedings of the 25th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*, 2019, pp. 65–72.
- [29] V. C. Ferreira, H. Balbi, F. L. Seixas, C. Albuquerque, and D. C. Muchaluat-Saade, “Wireless Body Area Networks: An Overview,” in *Minicurso do XXXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais-SBt 2017*, São Pedro-SP, 2017, pp. 1–14.
- [30] A. Boulis, “Castalia user’s manual,” *NICTA. Marzo del*, 2011.
- [31] A. Bouayad, E. H. Chaoui, M. E. Ghazi, and M. E. Bekkali, “Energy Efficiency of IEEE 802.15.6 MAC Access Modes for Remote Patient Monitoring Applications,” *International Journal of Computer Science and Information Security*, vol. 13, no. 4, pp. 68–77, Apr 2015.
- [32] M. O. Rahman, C. S. Hong, S. Lee, and Y.-C. Bang, “ATLAS: A traffic load aware sensor mac design for collaborative body area sensor networks,” *Sensors*, vol. 11, no. 12, pp. 11 560–11 580, 2011. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/11/12/11560>
- [33] C. B. M. Ferreira and F. R. Henriques, “Chaveamento de Transmissão Baseado na Temperatura do Nó em Redes de Sensores Corporais Sem Fio,” in *Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais-SBt 2018*, Campina Grande-PB, 2018, pp. 1–5.