

Um Estudo sobre o Consumo de Energia em Redes *Ad Hoc* Lineares Aloha com Saltos Equidistantes

Bruna A. da Silva e Renato M. de Moraes

Resumo— Em redes sem fio *ad hoc*, deseja-se que as estações possam atuar de maneira eficiente, com o mínimo de interferência humana possível durante seu funcionamento e economizem ao máximo a energia de suas baterias. Este artigo propõe estudar o comportamento do consumo de energia empregando comunicação por múltiplos saltos equidistantes em uma rede *ad hoc* linear, fazendo uso do protocolo de controle de acesso ao meio *slotted Aloha*. O estudo obtém a ótima potência de transmissão em função de importantes parâmetros como o tamanho do pacote de dados e a taxa de transmissão que proporcionam reduzido consumo de energia.

Palavras-Chave— Consumo de energia, protocolo Aloha, redes *ad hoc*.

Abstract— In wireless *ad hoc* networks, it is desired that the stations can efficiently work, with minimal human interference as possible, during operation and save power from their batteries as much as possible. This paper investigates the energy consumption in equidistant multiple hops in a linear *ad hoc* network, employing *slotted Aloha* as medium access control protocol. The study obtains the optimal transmission power as a function of important parameters such as the data packet size and the transmission rate which provides low energy consumption.

Keywords— *Ad hoc* networks, Aloha protocol, energy consumption.

I. INTRODUÇÃO

Uma rede *ad hoc* é constituída de nós conectados por um canal sem fio e é comumente utilizada para aplicações militares e computação móvel por, no geral, apresentar fácil implantação e natureza descentralizada [1], [2], [3].

Uma preocupação básica desse tipo de rede está no que diz respeito ao seu consumo de energia. Assim, o planejamento e a implantação de tais redes são aspectos importantes, pois impactam significativamente nas aplicações que estarão limitadas pelo consumo de energia. Por outro lado, a utilização dos recursos de energia - como baterias - em redes sem fio *ad hoc* e também de sensores, está fortemente relacionada à comunicação. Consequentemente, o consumo de energia é, em geral, correlacionado a diversos parâmetros das camadas física e de enlace destas redes.

Em redes *ad hoc* e de sensores, deseja-se que os dispositivos consigam se autoajustar às diversas condições de operações, de forma a resultar em seu melhor desempenho funcional. Em [4] e [5] foi mostrado que o consumo de energia é uma das principais medidas de desempenho em redes cujos dispositivos funcionam à bateria, uma vez que está relacionado à longevidade de operação da rede.

Bruna A. da Silva e Renato M. de Moraes estão com o Centro de Informática (CIn), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife-PE, Brasil, CEP 50740-560. E-mails: bas4@cin.ufpe.br, renatomdm@cin.ufpe.br.

Deste modo, motivados pela necessidade de explorar novas abordagens que considerem a redução do consumo de energia, aspectos de camada física e enlace foram aqui considerados. Este trabalho, portanto, busca analisar o consumo de energia para a realização da comunicação por múltiplos saltos em função do tamanho do pacote e da taxa de transmissão, considerando também um protocolo de acesso ao meio, no caso o *slotted Aloha* [6]. Para simplificar a análise, todos os nós estão ao alcance dos demais e dispostos geograficamente em uma configuração linear com saltos equidistantes.

O restante deste trabalho está dividido conforme descrito a seguir. Trabalhos relacionados são abordados na Seção II, enquanto a formulação do modelo de energia oriundo de [7] é revisitada na Seção III e em seguida é ampliado para incluir o efeito do protocolo de comunicação *slotted Aloha*, agora com foco no consumo de energia em função da taxa de transmissão de dados (R) e do tamanho do pacote (N_b). Os resultados e discussão são apresentados na Seção IV e a Seção V conclui o artigo.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Por se tratar de redes que apresentam seu desempenho relacionado com o consumo de energia, contenção e colisão de pacotes, o tema abordado neste trabalho vem sendo amplamente discutido.

Em [8] utiliza-se informações da camada física e da camada de enlace a fim de encontrar um caminho para o envio de dados que promova uma comunicação energeticamente eficiente. Foram considerados parâmetros como o número de nós, a distância entre os nós, a taxa de erro de bit, o consumo de energia de cada nó, a potência de transmissão, dentre outros. É empregada uma análise em termos da taxa de transmissão de dados e do consumo de energia por bit. No entanto, não conduz nenhum estudo detalhado em termos do tamanho do pacote, bem como da energia gasta para a realização de cada salto.

Por outro lado, a otimização do consumo de energia proposta por [9] é feita em função da taxa de erro de bits (BER, do inglês *bit error rate*), da distância de referência em transmissão de sinais sem fio, do número de nós, dos pacotes codificados na rede e do consumo de energia para enviar ou receber um bit. Por outro lado, não é explorada a probabilidade de sucesso na entrega dos dados e nem faz uso de nenhum protocolo de camada de enlace.

Em [10], o consumo de energia é investigado empregando o protocolo *slotted Aloha* que toma como variáveis a potência e a taxa de transmissão. No entanto, não consideraram parâmetros como o tamanho do pacote e nem a comunicação por múltiplos saltos.

Em [11], o protocolo *slotted* Aloha é usado como objeto de comparação em redes de sensores. É feita análise do consumo de energia baseada apenas na densidade da rede, não considerando a influência de parâmetros como a taxa de transmissão e a taxa de erro de bit.

Uma abordagem de comunicação por múltiplos saltos para redução do consumo de energia é proposta por [12] considerando parâmetros como o número de nós na rede, a energia necessária para transmitir uma determinada quantidade de bits e a distância entre os nós. Contudo, não é feita uma análise considerando a camada de enlace. Analogamente, a abordagem presente em [13] considera em suas análises para uma rede linear, apenas parâmetros de camada física como a taxa de transmissão e o coeficiente de atenuação com a distância.

Em [14], [15] e [7] foi desenvolvido um robusto modelo de consumo de energia para redes *ad hoc* e de sensores em que foi levado em consideração diversos parâmetros reais da camada física. A eficiência energética expressa na métrica proposta pelos autores traz consigo o embasamento necessário para estudo e análise de parâmetros como o raio de transmissão ótimo, cuja definição representa a distância ideal no qual um nó possa enviar informação e esta ser recebida com êxito. Entretanto, em casos práticos, a implementação do protocolo pode ser facilitada se outros parâmetros como a taxa de transmissão de dados e o tamanho do pacote forem propriamente ajustados. Também não foi considerado o efeito do protocolo de acesso ao meio.

No presente artigo, portanto, é realizado um estudo do consumo de energia da comunicação por múltiplos saltos. Diferentemente das análises citadas, trazemos agora uma investigação do efeito conjunto em função da taxa de transmissão de dados (R) e do tamanho do pacote (N_b), empregando a potência de transmissão (P_t) ótima e levando em consideração o protocolo de acesso ao meio (MAC, do inglês *Medium Access Control*).

Considera-se a possibilidade da variação da distância entre os nós comunicantes, com os mesmos dispostos linearmente equidistantes uns dos outros, a fim de facilitar a análise. A probabilidade de sucesso do nó transmitir, por sua vez, é dada através do uso do protocolo MAC *slotted* Aloha [6] que foi escolhido devido a sua simplicidade de modelagem e por sua possibilidade de aplicações em casos que não seja apropriado realizar detecção de portadora. Entretanto, a metodologia aqui empregada pode ser estendida para outros protocolos de acesso ao meio que sejam compatíveis com o modelo proposto.

III. CONSUMO DE ENERGIA

Utiliza-se como ponto de partida a formulação da energia consumida para a realização de um salto com retransmissão desenvolvida em [7], que atualizou a descrição de [16], e empregou as propostas de [14] e [15]. Trata-se, portanto, de um modelo robusto e optou-se aqui partir deste por verificar-se que o mesmo está bem definido, incorpora vários outros parâmetros de camada física e permitiu sua alteração para considerar o protocolo MAC e a modelagem para múltiplos saltos.

A análise neste trabalho considera uma rede sem fio contendo n nós e parte do pressuposto que todos os nós estão ao

alcance uns dos outros e dispostos geograficamente de maneira linear e equidistante, caracterizando um tipo de rede *ad hoc* sem fio de múltiplos saltos, tal como pode ser observado na Fig. 1, em que o nó fonte e o nó destino estão separados por uma distância d . Portanto, a fim de simplificar a análise, não está considerado aqui o efeito do terminal oculto. Entretanto, um possível trabalho futuro é estender o estudo para considerar o terminal oculto e um protocolo de acesso ao meio que aborde esse problema.

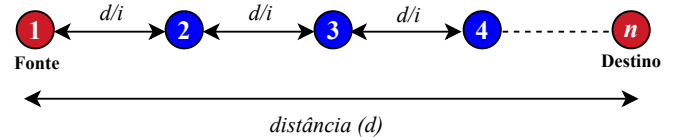


Fig. 1. Rede linear de i saltos equidistantes contendo n nós.

A energia consumida (E_p) para o envio de um pacote em um salto é a soma entre a energia empregada na transmissão E_{Tx} e a energia gasta para recepção E_{Rx} . Assim, resulta que [7]

$$E_p = E_{Tx} + E_{Rx}. \quad (1)$$

E_{Tx} e E_{Rx} são descritas, respectivamente, de acordo com [16] por

$$E_{Tx} = T_{start}P_{start} + \frac{N_b}{R}(P_{txElec} + P_{amp}) \quad (2)$$

e

$$E_{Rx} = T_{start}P_{start} + \frac{N_b}{R}P_{rxElec}, \quad (3)$$

em que N_b é o número de bits por pacote, R é a taxa de transmissão de dados, P_{txElec} é a potência para alimentação do circuito de transmissão, P_{rxElec} é a potência para alimentação do circuito de recepção, T_{start} é o tempo de inicialização do circuito e P_{start} é a potência requerida para inicialização. P_{amp} é definido como a potência para amplificação do sinal na transmissão, e é dada por

$$P_{amp} = \alpha_{amp} + \beta_{amp}P_t, \quad (4)$$

em que α_{amp} é um nível constante de potência e β_{amp} é uma constante de proporcionalidade da potência de transmissão P_t .

A fim de obter o consumo médio de energia por bit para uma transmissão por múltiplos saltos com sucesso, deve-se dividir o consumo para transmissão de um pacote pelo número de bits N_b deste pacote e considerar o número de saltos realizados até chegar no destino. Com essa finalidade, define-se primeiro o consumo de energia por bit E_b (expresso em Joules por bit (J/bit)) para um único salto como sendo

$$E_b = \frac{E_p}{N_b} = E_c + K_1P_t, \quad (5)$$

em que E_c e K_1 são dados, respectivamente, por

$$E_c = \frac{2T_{start}P_{start}}{N_b} + \frac{P_{txElec} + P_{rxElec} + \alpha_{amp}}{R}, \quad (6)$$

$$K_1 = \frac{\beta_{amp}}{R}. \quad (7)$$

Por outro lado, para um canal não-confiável, a probabilidade de sucesso de transmissão de um pacote contendo N_b bits é

$pr_s(\gamma) = (1 - BER(\gamma))^{N_b}$ em que $BER(\gamma)$ é a taxa de erro de bits em função da relação sinal-ruído (γ) [15]. Aqui se modifica essa probabilidade para incluir o efeito do protocolo MAC *slotted* Aloha [6], em que a probabilidade de acesso ao meio com sucesso de um nó é dada por $\delta = \frac{1}{n} (1 - \frac{1}{n})^{n-2}$ para n nós na rede. Da Fig. 1, tem-se que $n = i + 1$. Logo, resulta que a probabilidade de transmissão com sucesso de um pacote em um salto é

$$Pr_s = pr_s(\gamma)\delta = \frac{(1 - BER(\gamma))^{N_b} \left(\frac{i}{i+1}\right)^{i-1}}{i+1}. \quad (8)$$

A relação sinal-ruído é definida como sendo

$$\gamma = C_2 P_t \left(\frac{d}{i}\right)^{-\alpha} R^{-1}, \quad (9)$$

em que $\left(\frac{d}{i}\right)$ indica a distância do salto, α é o coeficiente de atenuação do sinal com a distância e P_t é a potência de transmissão. A constante C_2 é dada por

$$C_2 = \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 N_0}, \quad (10)$$

em que G_T e G_R representam, respectivamente, os ganhos das antenas no transmissor e no receptor. N_0 é a densidade espectral de potência de ruído no canal de comunicação, λ é o comprimento de onda do sinal transmitido e igual a $\frac{c}{f_c}$ em que c é a velocidade da luz e f_c é a frequência do sinal.

É importante notar que a relação sinal-ruído não deve considerar a interferência causada pelos demais nós da rede visto que isto é tratado no protocolo de controle de acesso ao meio. Assim, se houver transmissão simultânea de dois ou mais nós, os pacotes de dados colidem entre si e a informação é perdida ocasionando necessariamente a retransmissão. Tal efeito é incorporado aqui no protocolo Aloha.

Como se trata de uma transmissão por múltiplos saltos em uma rede linear com os nós equidistantes, primeiro define-se o consumo médio de energia por bit para realizar um único salto, em unidades de Joules/bit, como

$$\bar{E}_{1hop} = E_b(P_t) \sum_{k=1}^{\infty} k Pr_s (1 - Pr_s)^{k-1} = \frac{E_b(P_t)}{Pr_s}, \quad (11)$$

em que k é o número de retransmissões necessárias para o envio do pacote de dados com sucesso no salto. Usando os resultados das Eqs. (5) e (8) em (11) obtém-se a energia média total por bit para realizar i saltos entre o par de nós comunicantes (fonte e destino)

$$\bar{E}_{ihop} = \bar{E}_{1hop} \cdot i = \frac{(E_c + K_1 P_t)}{(1 - BER(\gamma))^{N_b}} \cdot \frac{(i+1)^i}{i^{i-2}}. \quad (12)$$

O canal de comunicação que este trabalho considera é o que emprega o desvanecimento Rayleigh, que é amplamente utilizado na literatura em casos de redes *ad hoc* e de sensores para modelar canais sem fio. Assim, para uma relação sinal-ruído maior que 5, que é o caso para os valores de parâmetros aqui empregados, pode-se aproximar a taxa de erro de bits por [17]

$$BER(\gamma) \approx \frac{\alpha_m}{2\beta_m \gamma}, \quad (13)$$

em que α_m e β_m são constantes que dependem da modulação empregada. Será considerada a modulação BPSK (do inglês *Binary Phase Shift Keying*), que é comumente encontrada nos dispositivos de comunicação sem fio, e nesse caso $\alpha_m = 1$ e $\beta_m = 2$. Das Eqs. (9), (12) e (13), resulta que

$$\bar{E}_{ihop} = \frac{E_c + K_1 P_t}{\left(1 - \frac{\alpha_m}{2\beta_m C_2 P_t \left(\frac{d}{i}\right)^{-\alpha} R^{-1}}\right)^{N_b}} \cdot \frac{(i+1)^i}{i^{i-2}}. \quad (14)$$

É possível, ainda, determinar a potência de transmissão ótima (P_0) para uso posterior como uma função da taxa de transmissão (R) e do tamanho do pacote (N_b). Para isso, primeiramente se resolve

$$\frac{\partial \bar{E}_{ihop}}{\partial P_t} \Big|_{P_t=P_0} = 0. \quad (15)$$

Desenvolvendo a Eq. (15), obtém-se a potência de transmissão ótima em função da taxa de transmissão (R), do tamanho do pacote (N_b) e também demais parâmetros, ou seja,

$$P_0(R, N_b) = \frac{\left(\frac{d}{i}\right)^{-\alpha} \alpha_m (1+N_b)}{4C_2 \beta_m R^{-1}} + \frac{\sqrt{\left(\frac{d}{i}\right)^{-\alpha} \beta_{amp} \alpha_m \left[\left(\frac{d}{i}\right)^{-\alpha} \beta_{amp} \alpha_m (1+N_b)^2 + 8\beta_m C_2 R^{-1} (C_3 R + C_4 N_b)\right]}}{4C_2 \beta_{amp} \beta_m R^{-1}}. \quad (16)$$

As constantes C_3 , C_4 são oriundas do desmembramento de E_c , para representação em função de R e N_b , e são dadas, respectivamente, por

$$C_3 = 2T_{start}P_{start}, \quad (17)$$

$$C_4 = P_{txelec} + P_{rxelec} + \alpha_{amp}. \quad (18)$$

Diante dos resultados acima apresentados se propõe, portanto, avaliar o consumo médio de energia por bit para uma transmissão bem sucedida, por múltiplos saltos, em função da taxa de transmissão de dados (R) e do tamanho do pacote (N_b) empregando-se a potência ótima de transmissão (isto é $P_t = P_0(R, N_b)$). Assim, R e N_b podem ser variados para atingir valores mínimos de consumo de energia fixando os demais parâmetros que estão descritos na Tabela I, que representam as características físicas do transceptor μ AMPS-1 [16].

Deste modo, e fazendo uso das Eqs. (14) e (16), tem-se que a energia média consumida por bit para realizar a transmissão da fonte até o destino, considerando i saltos, pode ser dada em função de R e de N_b , para o valor ótimo de $P_0(R, N_b)$, da seguinte forma

$$\begin{aligned} \bar{E}_{ihop}(P_t = P_0(R, N_b)) \\ = \frac{C_3 R + (C_4 + \beta_{amp} P_0(R, N_b)) N_b}{R N_b \left(1 - \frac{\alpha_m}{2\beta_m C_2 P_0(R, N_b) \left(\frac{d}{i}\right)^{-\alpha} R^{-1}}\right)^{N_b}} \cdot \frac{(i+1)^i}{i^{i-2}}, \end{aligned} \quad (19)$$

em que $P_0(R, N_b)$ é dado pela Eq. (16).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o objetivo de explorar o comportamento do consumo de energia médio por bit da rede *ad hoc* sem fio aqui considerada, esta seção apresenta os resultados numéricos para comunicação por múltiplos saltos empregando a Eq. (19). Os

TABELA I

PARÂMETROS PARA O MODELO DE CONSUMO DE ENERGIA [16], [7]

Parâmetro	Descrição	Valor
P_{rxElec}	Potência do circuito de recepção	279mW
P_{start}	Potência para inicialização	58,7mW
T_{start}	Tempo de inicialização	446μs
P_{txElec}	Potência do circuito de transmissão	151mW
α_{amp}	Nível de potência Eq. (4)	174mW
β_{amp}	Constante de proporcionalidade Eq. (4)	5
N_0	Densidade espectral de ruído	-154dBm/Hz
f_c	Frequência da portadora	2,4GHz
c	Velocidade da luz	$3 \times 10^8 m/s$
G_T	Ganho da antena de transmissão	1
G_R	Ganho da antena de recepção	1
α	Coefficiente de atenuação	2 e 4
d	Distância entre fonte e destino	80m
i	Número de saltos até o destino	1, 2, 4, 8

valores dos parâmetros utilizados encontram-se descritos na Tabela I. Foram considerados dois valores para o coeficiente de atenuação com a distância ($\alpha = 2$ e 4) que resultam cenários distintos para comunicação sem fio.

Como a distância entre fonte e destino empregada foi $d = 80m$ e testou-se o número de saltos $i = 1, 2, 4$ e 8, então a distância do salto (d/i) assumiu os valores 80, 40, 20 e 10 metros, respectivamente.

A Fig. 2, para $\alpha = 2$ e $R = 1Mbps$, ilustra o comportamento do consumo de energia (em unidades de dBmJoules por bit (dBmJ/bit)) em função do tamanho do pacote. Observa-se que o menor consumo dentre as curvas acontece para comunicação em um único salto com tamanho de pacote ótimo de aproximadamente 500 bits. Para dois saltos N_b ótimo é de aproximadamente 800 bits, para quatro saltos é de 1000 bits e para oito saltos é de 2000 bits. Assim, à medida que o número de saltos aumenta, cresce o tamanho do pacote ótimo e o consumo mínimo também aumenta.

Esse comportamento justifica-se pelo fato de que quando o salto é grande, a relação sinal-ruído diminui. Portanto, enviar pacotes mais curtos diminui a probabilidade de erro na recepção em função do ruído no canal ocasionando menos retransmissões e portanto menor consumo, comparativamente.

Na Fig. 3, para $\alpha = 4$ e $R = 1Mbps$, com o aumento da atenuação do sinal recebido, devido ao maior valor do coeficiente de atenuação com a distância, resulta diminuição da relação sinal-ruído se tornando vantajoso enviar pacotes no geral curtos (N_b ótimo aproximadamente entre 10 e 400 bits) para as quantidades de saltos e demais parâmetros considerados neste cenário. Ao se empregar um único salto é mais vantajoso usar pacotes abaixo de 30 bits de comprimento. Para dois saltos é mais vantajoso usar tamanhos de pacotes entre 30 e 200 bits, para quatro saltos entre 200 e 2000 bits e para 8 saltos acima de 2000 bits.

As Figs. 4 e 5 apresentam a energia consumida por bit, para $\alpha = 2$ e 4, respectivamente, e com $N_b = 1000bits$, em função da taxa de transmissão. Observa-se em todas as curvas que os menores consumos acontecerão para as maiores taxas o que pode ser explicado pelo fato de que quanto maior for o valor de R , menor será o tempo de transmissão do

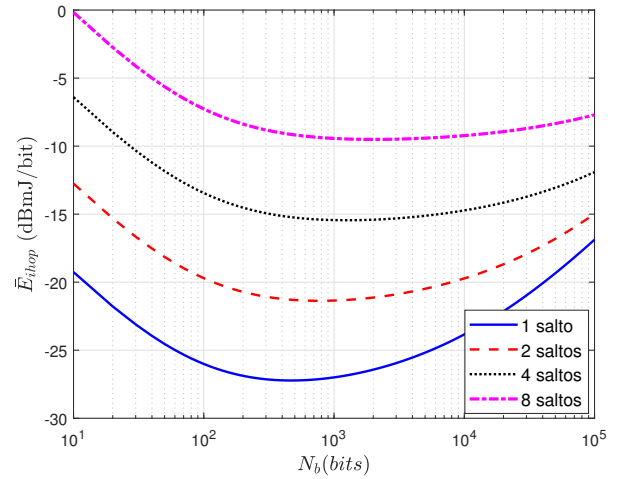


Fig. 2. Energia média por bit em função do tamanho do pacote (N_b) com taxa de transmissão $R = 1Mbps$ e $\alpha = 2$.

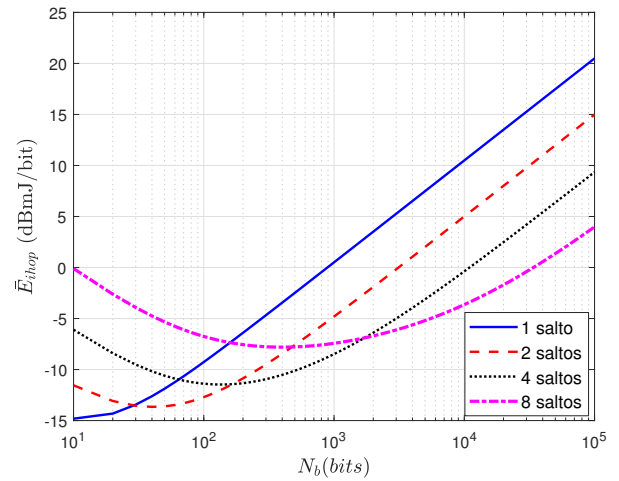


Fig. 3. Energia média por bit em função do tamanho do pacote (N_b) com taxa de transmissão $R = 1Mbps$ e $\alpha = 4$.

pacote que por sua vez reduz seu intervalo de vulnerabilidade, diminuindo as chances de erros no canal e também as colisões por consequência do protocolo Aloha. Portanto, conclui-se que para tais redes, para o conjunto de parâmetros aqui considerados, o melhor ponto de operação de R para reduzir o consumo de energia é transmitir na maior taxa possível.

Os resultados para os cenários e premissas aqui considerados mostram que é possível se adaptar o tamanho do pacote e a taxa de transmissão para se obter reduzido consumo de energia. Também é possível estabelecer se a transmissão entre a fonte e o destino é mais vantajosa através de um único salto ou por múltiplos saltos, levando-se em consideração os demais parâmetros da camada física e do protocolo de acesso ao meio.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho teve por finalidade investigar o comportamento do consumo médio de energia por bit para transmissão bem sucedida, em uma rede *ad hoc* sem fio linear, empregando

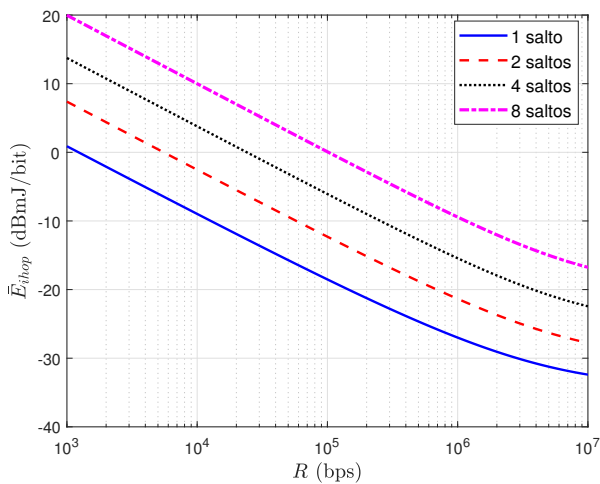


Fig. 4. Energia média por bit em função da taxa de transmissão (R) com tamanho do pacote $N_b = 1000\text{bits}$ e $\alpha = 2$.

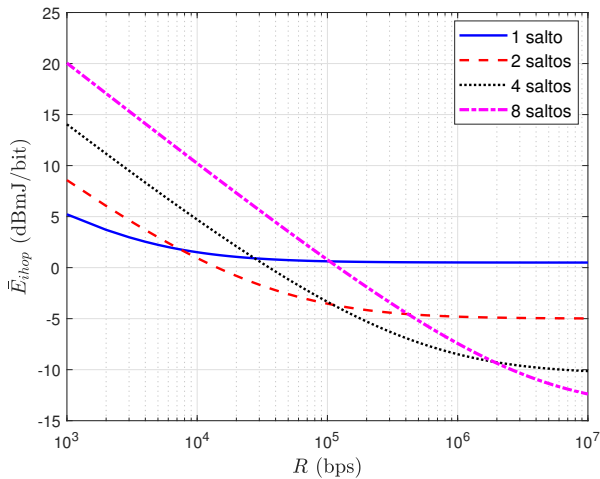


Fig. 5. Energia média por bit em função da taxa de transmissão (R) com tamanho do pacote $N_b = 1000\text{bits}$ e $\alpha = 4$.

múltiplos saltos equidistantes. Uma das contribuições do estudo foi partir de uma robusta formulação de consumo de energia empregada na literatura e ampliá-la para considerar o protocolo de acesso ao meio *slotted* Aloha.

Outra contribuição do trabalho foi determinar a faixa de variação da taxa de transmissão e do tamanho do pacote, para diferentes saltos, e observar o mínimo consumo de energia para a transmissão por bit. Foram estudados dois casos: um com coeficiente de atenuação com a distância igual a dois e outro igual a quatro, os quais modelam distintos cenários de comunicação sem fio. Verificou-se que, dependendo do caso, há um valor ótimo do tamanho do pacote para o consumo de energia. Também se observou que a taxa de transmissão que resulta o menor consumo de energia é a maior que seja possível de ser utilizada na prática.

Como trabalhos futuros, pretende-se empregar otimização multi-objetiva, em uma rede cujo os nós estão dispostos de maneira aleatória, considerando um protocolo de acesso ao meio mais sofisticado. Também será adicionado o problema

do terminal escondido. Procurar-se-á ainda comparar e refinar o modelo em simuladores de redes e testá-lo em módulos (kits) práticos de comunicação.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado em parte pelo Centro de Informática (CIn) da UFPE, pela Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- [1] A. Kumar, S. Kumar, and O. Kaiwartya, "Optimizing energy consumption with global load balance in mobile ad hoc networks using nsga-ii and random waypoint mobility," in *International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)*, Greater Noida, India, May. 2017.
- [2] Y. Ma, Q. Yang, and K. S. Kwak, "Impact of mobility on energy consumption in mobile ad hoc networks," in *International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)*, Nanjing, China, Oct. 2017.
- [3] H. Xiao, D. M. Ibrahim, and B. Christianson, "Energy consumption in mobile ad hoc networks," in *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Istanbul, Turkey, Apr. 2014.
- [4] A. L. Gupta and N. Shekhar, "A novel approach to improve network lifetime in wsn by energy efficient packet optimization," in *IEEE International Conference on Engineering and Technology (ICETECH)*, Coimbatore, India, Mar. 2016.
- [5] I. Mobin, N. Mohammed, and S. Momen, "Optimal range estimation for energy efficient dynamic packet size," in *International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*, Cox's Bazar, Bangladesh, Feb. 2017.
- [6] L. Roberts, "Aloha packet system with and without slots and capture," *ACM SIGCOMM Computer Commun. Review*, vol. 5, no. 2, pp. 28–42, 1975.
- [7] R. Zhang and J.-M. Gorce, "Optimal transmission range for minimum energy consumption in wireless sensor networks," in *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Las Vegas, USA, Mar. 2008.
- [8] A. S. Sadiq, T. Z. Almohammad, R. A. B. M. Khadri, A. A. Ahmed, and J. Lloret, "An energy-efficient cross-layer approach for cloud wireless green communications," in *Second International Conference on Fog and Mobile Edge Computing (FMEC)*, Valencia, Spain, May. 2017.
- [9] X. Liu, N. Xiong, W. Li, and Y. Xie, "An optimization scheme of adaptive dynamic energy consumption based on joint network-channel coding in wireless sensor networks," *IEEE Sensors Journal*, vol. 15, no. 9, pp. 5158–5168, 2015.
- [10] L. Goratti, E. Yaprak, S. Savazzi, and C. Pomalaza-Raez, "An urn occupancy approach for modeling the energy consumption of distributed beaconing," *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, vol. 22, no. 1, pp. 203–216, 2014.
- [11] N. Li, K. Lin, S. Yong, X. Chen, X. Wang, and X. Zhang, "Design and implementation of a mac protocol for a wearable monitoring system on human body," in *IEEE 11th International Conference on ASIC (ASICON)*, Chengdu, China, Nov. 2015.
- [12] S. K. Singh, P. Kumar, J. P. Singh, and M. A. A. Alryalat, "An energy efficient routing using multi-hop intra clustering technique in wsn," in *TENCON IEEE Region 10 Conference*, Penang, Malaysia, Nov. 2017.
- [13] Z. Shelby, C. Pomalaza-Raez, H. Karvonen, and J. Haapola, "Energy optimization in multihop wireless embedded and sensor networks," *International Journal of Wireless Information Networks*, vol. 12, no. 1, pp. 11–21, 2005.
- [14] J. Gao, "Analysis of energy consumption for ad hoc wireless sensor networks using a bit-meter-per-joule metric," *IPN Progress Report*, vol. 42, no. 150, pp. 1–19, 2002.
- [15] J.-M. Gorce, R. Zhang, and H. Parvery, "Impact of radio link unreliability on the connectivity of wireless sensor networks," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, no. 1, pp. 1–16, 2007.
- [16] H. Karl and A. Willig, *Protocols and architectures for wireless sensor networks*. John Wiley & Sons, 2007.
- [17] A. Goldsmith, *Wireless communications*. Cambridge University Press, 2005.