

Análise dos protocolos LEACH e LEACH-C para as Redes de Sensores sem Fio

Renata Silveira Vidal¹, Tasso Gomes de Faria¹

¹Curso de Ciências da Computação - Centro Universitário Lasalle (Unilasalle)
Av. Victor Barreto, 2288, Centro, CEP 92.010-000 - Canoas - RS – Brasil

rsvidal@terra.com.br, tasso@unilasalle.edu.br

Resumo. *Este artigo apresenta uma comparação entre dois protocolos de roteamento para redes de sensores sem fio, o LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) e o LEACH-C (LEACH-Centralized). São abordados os aspectos teóricos de ambos e, ao final, são apresentados resultados de simulação e uma comparação entre eles referente ao consumo de energia.*

1. Introdução

O avanço de pesquisas na área da microeletrônica permitiu o desenvolvimento dos microsensores, e por consequência, das redes de sensores sem fio (RSSFs). A aplicabilidade das RSSFs para as mais diversas áreas e ambientes, além do problema da miniaturização, exige que as questões relativas ao consumo de energia ganhem especial atenção. Os nodos das RSSFs precisam ter um consumo de energia pequeno como forma de manterem-se operacionais o maior tempo possível para a aplicação.

Todos os dados coletados pelos nodos são agregados por um nodo principal, mais próximo aos demais nodos. Este, por sua vez, envia os dados para a estação base, de onde, finalmente, os dados são coletados.

É de vital importância que todos os nodos estejam operacionais para evitar prejuízos à coleta de dados, independente da aplicação da rede. Em alguns ambientes não é possível fazer a troca ou a manutenção dos nodos e, algumas vezes isso, pode também não ser desejado para não interferir no ambiente que está sendo estudado.

Algumas técnicas são utilizadas para minimizar o consumo de energia, como o estado de economia de energia, no qual o nodo pode ficar enquanto não está comunicando-se com os demais nodos da rede. Além disso, toda a estrutura das RSSFs deve propiciar a economia de energia com a otimização dos sistemas operacionais e algoritmos envolvidos.

No presente estudo é realizada uma comparação entre dois algoritmos de roteamento, o LEACH e o LEACH-C, principalmente sob a perspectiva do consumo de energia. O presente artigo é dividido em seis seções. Nas seções 2 e 3, são apresentados aspectos teóricos das duas técnicas objeto de estudo, LEACH e LEACH-C respectivamente. Na seção 4, é apresentada a metodologia utilizada nas simulações. Na seção 5, os resultados das simulações, bem como sua análise. Finalmente na seção 6, as considerações finais e conclusões.

2. LEACH

O LEACH foi proposto por Heinzelman [Heinzelman, Chandrakasan e Balakrishnan 2000] e tem por objetivo minimizar o consumo de energia dos nodos das RSSFs. Ele utiliza o agrupamento dos nodos (*cluster*) de forma que sempre exista um nodo principal (*cluster head*) em cada grupo. A função do nodo principal é agregar os dados dos nodos do mesmo grupo e enviá-los a estação base (EB), de onde os dados serão finalmente captados.

Com a alternância do nodo principal em cada grupo, evita-se esgotar a bateria de apenas um nodo. A comunicação entre o nodo principal e os demais nodos se dá através do protocolo TDMA (*Time Division Multiple Access*) [Forouzan 2004]. A função de agregação dos dados também desempenha um importante papel na economia de energia, uma vez que o nodo principal pode combinar os sinais recebidos, eliminar as informações duplicadas, agregá-las e compactá-las antes de enviar à EB [Heinzelman, Chandrakasan e Balakrishnan 2002].

O funcionamento do LEACH é dividido em rodadas. Cada rodada é composta por duas fases. A fase de inicialização é onde os grupos são formados e a fase de estado estacionário é onde ocorre a transferência dos dados do nodo principal para a EB.

A eleição de quem será o nodo principal é feita com base nos nodos com maior energia disponível. Como a função do nodo principal exige muita energia, o LEACH tem por objetivo que todos os nodos tenham a oportunidade de ser o principal o mesmo número de vezes [Heinzelman, Chandrakasan e Balakrishnan 2002].

Cada nodo pode eleger-se principal e anunciar-se aos demais através de mensagens do tipo ADV (*advertisement*). Assim os demais nodos escolhem de que grupo participará. Usualmente é o nodo principal mais próximo, mas não necessariamente, já que a decisão é feita com base no nível de energia que observam nas mensagens de ADV recebidas, optando pelo que necessite menos gasto energético para a comunicação.

Uma vez decidido a que grupo o nodo faz parte, este deve comunicar sua escolha ao nodo principal, o que ocorre com mensagens do tipo Join-REQ. Toda a troca de mensagens entre os nodos e o nodo principal se dá com o uso de CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*). As mensagens são curtas e contêm os ID's de origem e destino, além do tipo da mensagem em si.

O nodo principal organiza um agendamento TDMA das transmissões e o divulga dentro do seu grupo. Cada nodo transmitirá seus dados ao nodo principal de acordo com a agenda, em sua fatia de tempo pré-definida. Esta sistemática também contribui para a economia de energia, uma vez que evita colisões e retransmissões. Além disso, os nodos podem ficar em modo de economia de energia enquanto não estão transmitindo.

Todo o esquema de formação dos grupos pode ser verificado na Figura 1 onde é apresentado o fluxograma do algoritmo. Existe um valor considerado ótimo (N-ótimo) para a quantidade de nodos principais de acordo com a topologia da rede.

Um detalhamento completo sobre os cálculos utilizados para determinar o número de grupos e o número de rodadas, baseados na topologia e número de nodos, pode ser consultado em Heinzelman [Heinzelman, Chandrakasan e Balakrishnan 2000] e [Heinzelman, Chandrakasan e Balakrishnan 2002].

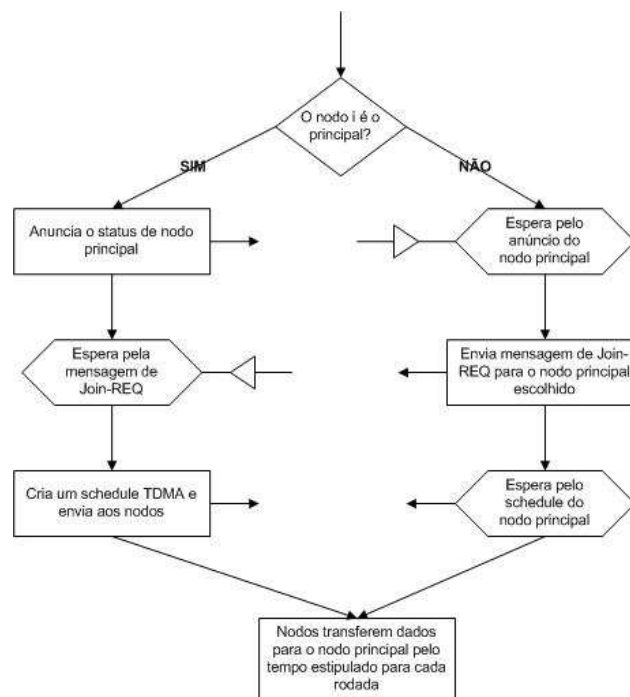


Figura 1. Formação dos grupos no LEACH. Fonte: [Heinzelman, Chandrakasan e Balakrishnan 2002]

Uma vez concluída a fase de formação dos grupos, pode ser iniciada a fase de transmissão dos dados dos nodos para o nodo principal, de acordo com o agendamento TDMA. O nodo principal recebe todos os dados, efetua uma agregação, unificando os dados comuns e removendo os sinais com ruído. Ao final do processo, todos os dados são enviados à EB.

Existe um problema na questão da formação dos grupos (*clusters*), pois a comunicação via rádio de um grupo pode interferir em um grupo próximo. Neste caso, o LEACH usa o DSSS (*Direct-Sequence Spread Spectrum*) como forma de reduzir as interferências entre os grupos. Esta técnica consiste em atribuir um código único por grupo. Assim cada nodo principal pode captar apenas os sinais com o seu código identificador e ignorar os demais [Heinzelman, Chandrakasan e Balakrishnan 2002].

3. LEACH-C

O algoritmo LEACH-C (*LEACH Centralized*) foi elaborado pelos mesmos autores do LEACH [Heinzelman, Chandrakasan e Balakrishnan 2002]. Ele tem os mesmos princípios de funcionamento do LEACH, porém o nodo principal do grupo é centralizado e eleito uma só vez.

A motivação para a criação do LEACH-C, foi o fato do LEACH não oferecer um desempenho uniforme. A cada rodada um novo nodo principal é escolhido, assim o desempenho total é a média de todas as rodadas do protocolo.

No LEACH-C, na fase de criação do *cluster*, cada nodo envia para a EB informações sobre sua localização física e quantidade de energia disponível. A escolha do nodo principal se dá com base nos que tem mais energia disponível. Desta forma, garante-se uma dissipação de energia mais uniforme pela área de distribuição dos

nodos. Este não é um algoritmo simples e o cálculo de um valor ótimo para o número de *clusters* é um problema NP-difícil [Heinzelman, Chandrakasan e Balakrishnan 2002].

A EB faz um broadcast com a identificação dos nodos principais que foram escolhidos. Os demais nodos devem permanecer inativos até que chegue o momento de transmitir seus dados de acordo com o protocolo TDMA [Heinzelman, Chandrakasan e Balakrishnan 2002].

4. Análise Proposta

Embora o LEACH-C procure uma melhor distribuição de energia, utilizando-se de um algoritmo mais complexo, a prática de sobrecarregar menos nodos com as funções de principal pode esgotar rapidamente a energia de um só componente da rede. Por outro lado, conforme já apresentado na seção 3, a troca constante do nodo principal, como ocorre no LEACH, pode não garantir uma distribuição eficiente de energia na rede.

No estudo efetuado por Wang [Wang, Zhao e Zheng 2004], é proposto o algoritmo EDAC (*Energy-Driven Adaptive Clustering Data Collection*), com base no LEACH e feita uma comparação de desempenho entre eles. O EDAC utiliza um sistema assíncrono para a troca do nodo que executa a função de principal em cada grupo. Quando ocorre o esgotamento de energia do nodo principal este é substituído. O modelo aplica-se a redes heterogêneas, onde o consumo de energia pode ocorrer de forma distinta entre os diferentes componentes da rede.

O trabalho de Tian [Tian e Georganas 2003], apresenta uma análise completa e aprofundada sobre o LEACH. Ele propõe uma pequena modificação no algoritmo original do LEACH, com o objetivo que a distribuição dos nodos principais se dê de forma mais uniforme na área de abrangência, proporcionando o uso racional de energia. Esta técnica permite que mais nodos entrem em estado de economia de energia.

O objetivo do presente estudo é comparar o LEACH e LEACH-C, para verificar a eficácia de ambos (menor consumo de energia), observando algumas métricas durante as simulações. Para a simulação, foi utilizado o software NS (*Network Simulator*) [NS-2, 2007], com as configurações implementadas por Pamplin [Pamplin, 2007] para suporte ao LEACH.

Os cenários foram compostos por uma área de 1000 x 1000 metros, com 100 nodos distribuídos randomicamente. Cada nodo transmitiu uma mensagem com 200 bits a cada rodada do protocolo [Heinzelman, Chandrakasan e Balakrishnan 2000], [Heinzelman, Chandrakasan e Balakrishnan 2002] e [Handy, Haase e Timmermann 2002]. O tempo de simulação foi de uma hora, contudo nenhuma das simulações chegou ao tempo final, pois todos os nodos esgotaram sua energia. Os tempos de finalização de cada simulação serão acompanhados nos gráficos apresentados na seção 5.

Com exceção dos parâmetros comuns a todos os cenários, foi feita uma variação da posição da EB e do número de nodos principais conforme é apresentado na Tabela 1.

Por sugestão de Handy [Handy, Haase e Timmermann 2002], foi variada a posição da antena, pois este parâmetro é de vital importância no desempenho dos algoritmos. Foram utilizadas as posições (50,75) e (500,500). A coordenada (500,500) define exatamente o ponto mediano da área.

No estudo Heinzelman [Heinzelman, Chandrakasan e Balakrishnan 2002] são apresentados os cálculos utilizados para definir um número ótimo (N-ótimo) de nodos

principais. Quanto mais próximo de N-ótimo este parâmetro estiver, melhor será a dissipação de energia pela área de distribuição dos nodos. Desta forma, com o objetivo de estudar a importância desta métrica, também foi variada a quantidade de nodos principais com os valores 5 e 2. Para 100 nodos, o N-ótimo sugerido seria de 3 a 5 [Heinzelman, Chandrakasan e Balakrishnan 2002].

Tabela 1. Cenários de Simulação

	Cenário A	Cenário B	Cenário C
Posição da EB	50,75	50,75	500,500
Número de nodos principais	5	2	5
Objetivos	Verificar a importância da posição da EB	Verificar a importância do número de nodos principais	Verificar a importância da posição da EB

Os aspectos inovadores apresentados no presente artigo são o estudo do LEACH-C com variação da posição da EB, e os testes com o N-ótimo para os nodos principais. Os parâmetros distintos dos anteriormente utilizados são as coordenadas da EB e a área de distribuição dos nodos.

5. Resultados

De acordo com informações apresentadas na seção 4 foram feitas algumas simulações, coletando os dados que são a base dos gráficos apresentados nesta seção.

As figuras 2 e 3 apresentam o comportamento dos algoritmos LEACH e LEACH-C em relação a posição da EB (Cenários A e C). Quanto mais centralizada a EB, melhor é a sobrevivência dos nodos para o LEACH-C conforme apresentado na Figura 3.

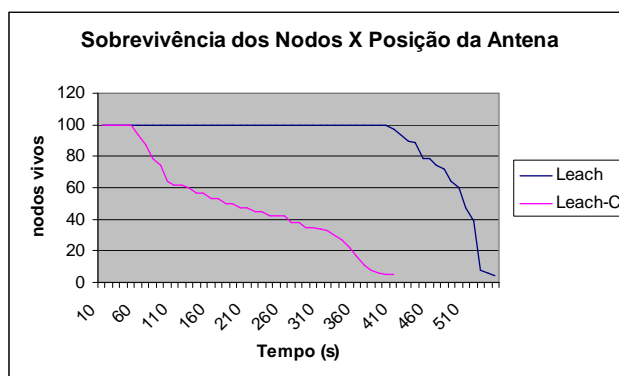


Figura 2. Simulação do Cenário A

Na Figura 3, também se observa que o LEACH esgotou totalmente a energia dos nodos em torno de 100 segundos de simulação, ao passo que o LEACH-C conseguiu mantê-los vivos até 400 segundos. Este comportamento pode ser explicado através da Figura 5, onde o LEACH rapidamente atinge o nível máximo de utilização de energia, ao passo que o LEACH-C demora mais para atingir tal patamar. Se a EB estiver em uma posição mais centralizada (Cenário C) o LEACH-C tem um desempenho melhor.

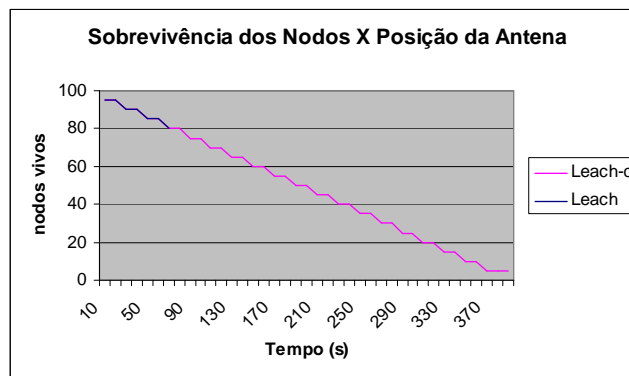


Figura 3. Simulação do Cenário C

Se a antena estiver em uma posição menos centralizada, então o LEACH pode ter um desempenho melhor conforme visto na Figura 4. Contudo, observa-se que o comportamento do LEACH-C é mais uniforme, e o nível de utilização de energia sobe menos abruptamente do que no LEACH. O fato do LEACH-C escolher os nodos com melhores condições de executarem a função de principal favorece o uso mais racional da energia.

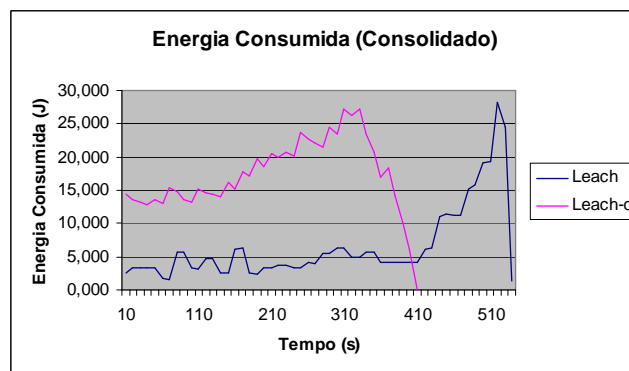


Figura 4. Simulação do Cenário A – somatório de todos os nodos

O pior desempenho do LEACH-C nos gráficos das Figuras 2 e 4 é explicado pela Figura 6. O LEACH-C faz com que cada um dos nodos gaste mais energia do que observa-se com o LEACH. Apesar disso, na Figura 4 observa-se que a finalização dos tempos de simulação comparando as duas técnicas não é significativamente grande.

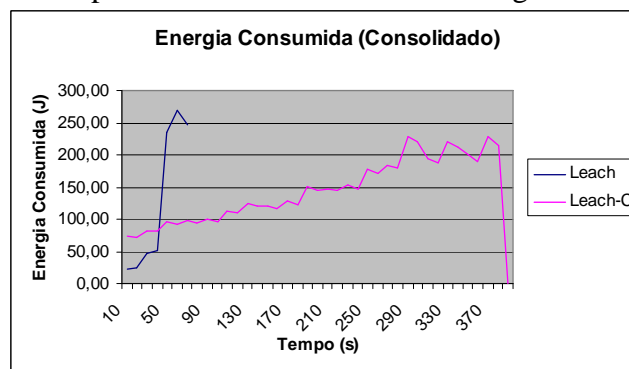


Figura 5. Simulação do Cenário C – somatório de todos os nodos

Com o objetivo de estudar melhor o comportamento do LEACH-C com a antena em uma posição menos centralizada, foi feita uma simulação com 2 nodos principais (Cenário B), ao invés dos 5 sugeridos [Heinzelman, Chandrakasan e Balakrishnan 2000].

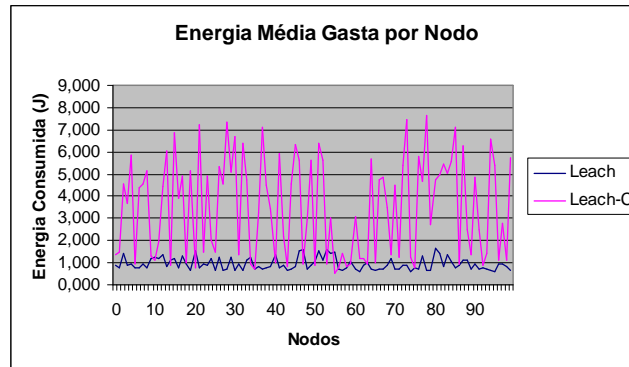


Figura 6. Simulação do Cenário A – média dos nodos

Na Figura 7, observa-se que o N-ótimo para o número de nodos principais tem mais impacto para o LEACH do que para o LEACH-C. Para o LEACH a simulação terminou em 360 segundos, com o esgotamento da energia dos nodos. Para o LEACH-C, a morte dos nodos aconteceu de forma mais gradual e o tempo de simulação foi maior, sendo que os nodos esgotaram-se totalmente em torno de 800 segundos.

Este comportamento pode favorecer o LEACH-C na questão do consumo de energia. Apesar de ter obtido um desempenho pior que o LEACH (ver Figura 2), dependendo da posição da EB, se os nodos principais esgotarem-se primeiro, para o LEACH-C esta questão teria um impacto negativo menor.

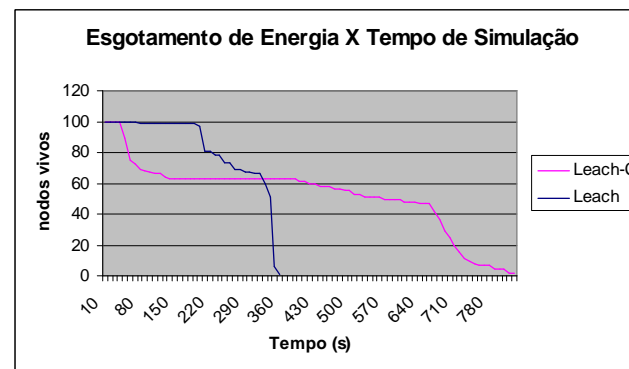


Figura 7. Simulação do Cenário B

Cabe ressaltar que a questão do N-ótimo é utilizada tanto para o LEACH quanto para o LEACH-C. O que diferencia os dois algoritmos é a forma de escolher os nodos principais, mas o número deles é o mesmo para ambas as técnicas. O que observa-se na Figura 7 é que o LEACH-C parece fazer uma escolha melhor, favorecendo a dissipação de energia na área de cobertura da RSSF, mesmo sem a escolha do N-ótimo, de forma que os nodos principais estão mais sobrecarregados.

6. Considerações Finais

Conforme foi apresentado na seção 5, cada uma das técnicas estudadas apresenta um melhor desempenho dependendo de uma série de fatores.

Com a EB mais centralizada, o LEACH-C tem um melhor desempenho. Por outro lado, se a EB estiver em uma posição que não favorece a dissipação de energia o LEACH consegue manter os nodos operacionais por mais tempo, conforme visto na Figura 2.

Apesar de promover um maior consumo de energia dos nodos, observado na Figura 6, o LEACH-C apresentou um bom desempenho no geral, mesmo sem a utilização de um N-ótimo para o número de nodos principais.

Esta questão possivelmente será melhor entendida com a observação das variáveis de *threshold* das duas técnicas. Tanto o LEACH quanto o LEACH-C determinam um limiar de energia, a partir do qual o nodo já é considerado morto. Se o nodo atingir o *threshold*, ele pode entrar em modo de economia de energia. Esse limiar é configurado automaticamente dependendo da situação em que se encontra a rede no momento, podendo ser aumentado ou diminuído. Provavelmente o LEACH-C determina um limiar mais próximo de zero, já que, mesmo com maior consumo de energia, consegue manter os nodos operacionais por maior tempo. Esta análise não chegou a ser feita no presente estudo, sendo esta uma questão para trabalhos futuros. Outra questão pendente, foi a plotagem das coordenadas X,Y de cada nodo para melhor compreensão da escolha dos nodos principais por parte do algoritmo do LEACH-C.

Referências

- Forouzan, B. A. (2004). Data Communications and Networking. Boston: McGraw-Hill.
- Handy, M. J., Haase, M. e Timmermann, D. (2002). "Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy with Deterministic Cluster-Head Selection". IEEE Conference on Mobile and Wireless Communications Networks, p. 368-372.
- Heinzelman, W. B., Chandrakasan, A. e Balakrishnan, H. (2002). "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks". IEEE Transactions on Wireless Communications, p. 660-670.
- Heinzelman, W. B., Chandrakasan, A. e Balakrishnan, H. (2000). "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks". Hawaii International Conference on System Sciences, p. 1-10.
- NS-2, NetWork Simulator. (2007). <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- Pamplin, J. A. (2007). "NS2 LEACH Implementation", <http://www.internetworkflow.com/resources/ns2leach.pdf>, Abril.
- Tian, D. e Georganas, N. D. (2003). "A Node Scheduling Scheme for Energy Conservation in Large Wireless Sensor Networks". Wireless Communications and Mobile Computing Journal.
- Wang, Y., Zhao, Q., Zheng, D. (2004). "Energy-Driven Adaptive Clustering Data Collection Protocol in Wireless Sensor Networks". International Conference On Intelligent Mechatronics And Automation, p. 599-604.